

Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені Ігоря Сікорського»
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
 Кафедра технології машинобудування

«На правах рукопису»
 УДК 621

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Юрій ПЕТРАКОВ

(підпис) (власне ім'я, прізвище)

“ ____ ” _____ 2020 р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою «Технології машинобудування»
зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

на тему: Технологічне забезпечення складально-різьбоформуючої операції. _____

Виконав:

студент 6 курсу, групи МТ-91мп

Чікаїза Ланчімба Алексіс Раміро

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник Данилова Людмила Миколаївна

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент Данилова Людмила Миколаївна

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
 дисертації немає запозичень з праць
 інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
 (підпис)

Київ – 2020 року

Реферат

Магістерська дисертація містить: 58 сторінок , 15 рисунків, 23 таблиць.

Актуальність теми: Використання різьбових з'єднань прогресивних технологій скорочує витрати і час на складальні роботи і забезпечує можливість застосування засобів автоматизації.

Мета дослідження: технологічне забезпечення складально-різьбоформуючої операції.

Об'єкт дослідження: технологічне забезпечення складально

Предмет дослідження: Системні параметри та стандарти для визначення доцільності використання саморізів, що формують різьблення.

Методи дослідження: ідеалізація, формалізація, аналіз.

.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Вдосконалт схема забезпечення стійкості кріпильних елементів в початковий момент загвинчування.

Практичне значення одержаних результатів:

Використання результатів розрахунків за розробленою програмою (розрахунок діаметра та осьової сили) забезпечує мінімізацію собівартості при проектуванні альтернативних технологій.

Пропозиції щодо можливих напрямків продовження досліджень

Потрібно провести дослідження з метою вдосконалення та розвитку нових технологій.

Abstract

The master's thesis contains: 58 pages, 15 drawings, 23 tables.

Actuality of theme: The use of threaded connections of advanced technologies reduces the cost and time for assembly work and provides the possibility of using automation tools.

Purpose of the research: technological support of assembly-thread-forming operation.

Object of study: assembly technological support

Subject of study: System parameters and standards for determining the feasibility of using self-tapping screws that form threads.

Research methods: idealization, formalization, analysis.

Scientific novelty of the obtained results: Perfect stability scheme fasteners at the initial moment of screwing.

Practical importance of the obtained results: The use of calculation results according to the developed program (calculation of diameter and axial force) provides minimization of prime cost at designing of alternative technologies.

Suggestions for possible areas of further research

Research is needed to improve and develop new technologies.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
Розділ 1. Технологічні особливості різьбових з'єднань.....	10
1.1 Якість гладко різьбових з'єднань.....	13
1.2 Геометричні параметри різьбоформування.....	16
1.3 Кінематичні параметри різьбоформування.....	18
Розділ 2. Забезпечення якості гладкорізьбового з'єднання.....	22
2.1 Визначення раціонального діаметру під накатування.....	22
2.2 Аналіз картини пластичної деформації різьби.....	24
2.3 Визначення діаметра отворів для різьбоформування.....	29
2.4 Визначення силових параметрів різьбоформування.....	39
Розділ 3.....	40
3.1 Опис ідеї проекту.....	40
3.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	41
3.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	42
3.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	46
3.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	48
3.6 Висновки порозділу.....	51
Висновки.....	52
Список публікацій.....	53
Література.....	54
Додатки.....	56

Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів

ГОСТ—регіональний стандарт.

ГРЗ—гладко різьбове з'єднання.

СР гвинт—свердлувально різьбо формуючий гвинт.

Рос—осьова сила при свердлінні.

Рхг—сила на головній різальній кромці.

Рхл—сили тертя на лезі гвинта.

Мкр—крутний момент.

Вступ

Якість і надійність виробів машинобудування неодмінно пов'язана із забезпеченням точності перетворень рухів, передачею сил і моментів. При цьому, точність роботи кінцевого продукту повинна відповідати очікуванням користувача/замовника, а її завищення неодмінно призведе до підвищення виробничих витрат і собівартості, а отже до втрати конкурентоспроможності.

Розділ 1. Технологічні особливості різьбових з'єднань.

Найпоширенішим типом з'єднанням є різьбові, з їх допомогою виконується більше половини всіх з'єднань в приборах і машинах.

При складанні різьбових з'єднань значною мірою використовуються сучасне високо продуктивне обладнання, засоби автоматизації та інтенсифікації, системи контролю параметрів складальних операцій та отриманих сполук.

Однак, незважаючи на прогрес у розвитку технологій різьблення, трудомісткість основних операцій складання різьблення залишається в межах 35-40[6]. Ефективність технології визначається кумулятивним технічним ефектом, отриманим від їх впровадження.

Щодо складання різьбових з'єднань ефективність визначається показниками:

- продуктивність і економічності операцій сполучення;
- інтенсивність роботи;
- якість одержуваних сполук;

Одним із способів уточнення цих показників є впровадження процесів складання різьбових з'єднань, заснованих на використанні різьбових кріпильних елементів, при проектуванні виробів[5]. Широке впровадження їх у виробництво почалося з технології складання так званих «гладко-різьбових з'єднань» і саморізних гвинтів.

Різьбоформуєчі гвинти, шпильки, втулки закручуються в гладкі отвори і самі утворюють різьбовий профіль різанням або деформацією. Зменшення трудомісткості досягається виключенням попередньої операції різьблення, а одержані з'єднання мають високі експлуатаційно-технічні показники [3,15,16,17].

У створенні електронного обладнання, приладів, де з технічним вимогам небажано утворення стружки, використовують різьбовидавлюючі гвинти. Кілька іноземних компаній та фірм, що займаються виробництвом такого типу з'єднань, зокрема Camcar Textron, Elco Construction Products, Atali Associated Co., Fabco Fastening Systems, Concrete Fastening Systems, Hi-Tech Fastener.

Застосовуються гвинти в різних конструкцій: для різних матеріалів і з різним покриттям, багатозахідні, самосвердлувальні гвинти для

листового матеріалу, для загвинчування в бетон іт.д. Деякі з них показані на рис.1.1. На дані вироби існують свої стандарти в США, Німеччини і Росії: на режуще-деформують гвинти DIN 936, 937, TGL 5738, TGL 0-7513.

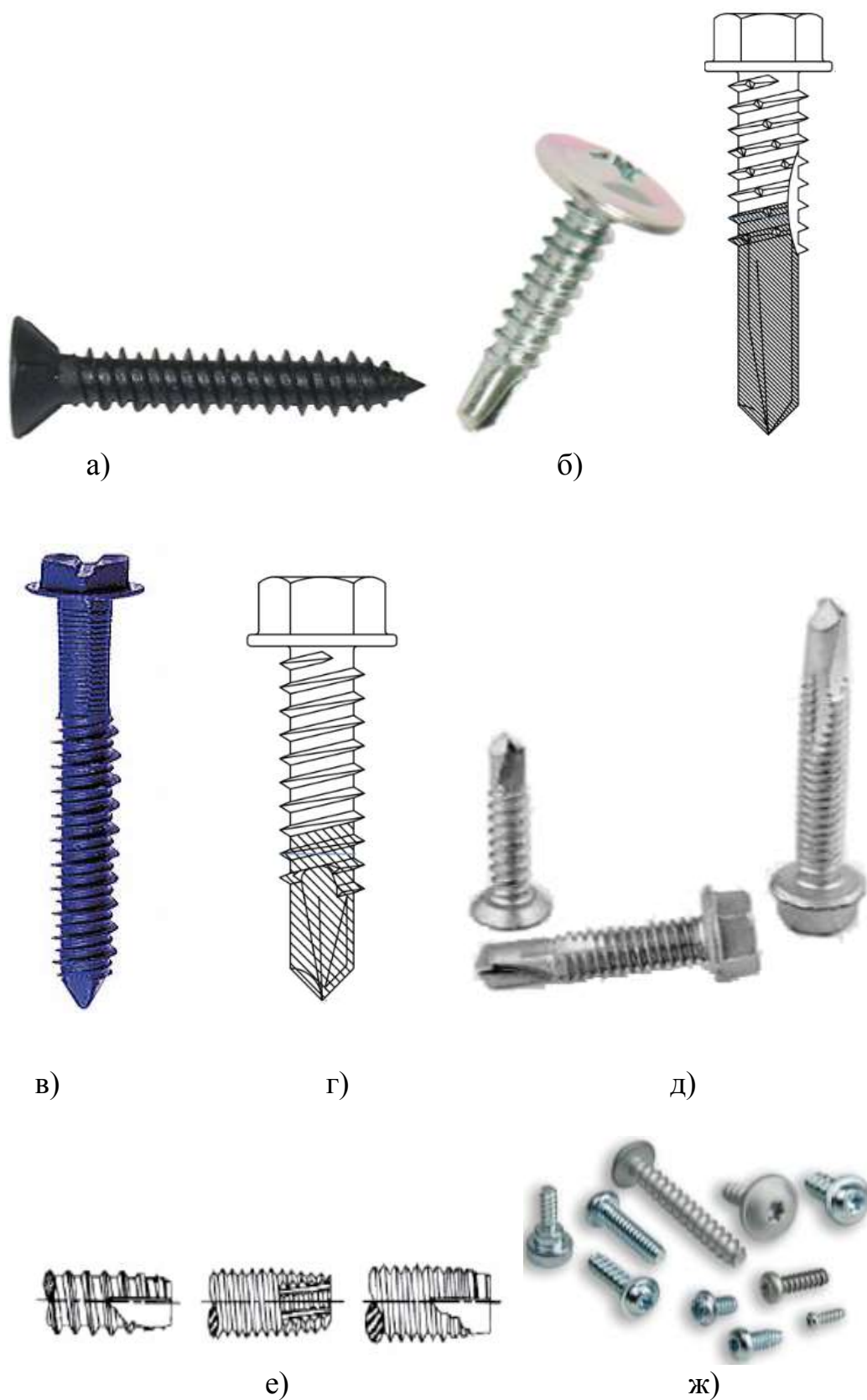


Рис 1.1 Самонарезаючі та різьбовидавлюючі винти різних видів конструкцій деяких зарубешних фірм - виробників:

- а) Fermacell screw (Atali Associated Co.)
- б) Self-Drilling screws (Atali Associated Co.)
- в) Tapcon anchor (Elco Construction Products)
- г) Self-Drilling screws (Hi-Tech Fastener)
- д) Drill-Flex (Elco construction)
- е) Thread cutting screws (Hi-Tech Fastener)
- ж) Thread-forming screws for assembling thermoplastics (Camcar

Textron) ГОСТ 23.4.91-76, ГОСТ 37.001.181-81 - ГОСТ 37.001.188-81, на самосвердлувальні гвинти TGL 34379, TGL 27440, ТУ 67-637-95.

Серія кріпильних елементів для різьбових деталей постійно вдосконалюється та розвивається. Об'єднуючи в одному переході процеси різьбоутворення, сполучення і затягування з'єднань, такі деталі дозволяють забезпечити в різьбових парах високі показники міцності, стопорення і ремонтпридатності.

Контроль питань їх виробництва, технологій складання, ресурсних випробувань з'єднань, їх якісних характеристик та розробки перспективних конструкцій деталей проводиться провідними науково виробничими організаціями.

Основними найвідомішими іноземними організаціями є: Союз німецьких виробників кріпильних деталей (Німеччина), департамент JAB (Японія), IFI –Industrial Fasteners Institute (США), лабораторії корпорації REMINC (США), інститут TIFI – Taiwan Industrial Fasteners Institute (Тайвань). Ці організації виконують основну дослідницьку роботу, координаційну та маркетингову роботу в області прогресивних типів кріпильних і кріпильний-різьбоутворюючі елементів.

За даними John R., і Jones S. внесок сполучних технологій в ВВП США складає 50% з до даної вартості в 50 млрд. доларів, при цьому 6,7 млрд. дол. припадає на оборонне замовлення. Наприклад, промисловість США виробляє більше двох мільйонів типів кріпильних деталей, серед них тільки 50 тисяч стандартизовані.

За даними інституту промислового кріплення (IFI-Industrial Fasteners Institute) більше 200 млрд. кріпильних виробів використовується щорічно в США, з них 26 млрд. споживає автомобільна промисловість. В даний час виробництвом кріплення займаються 380 великих фірм, що забезпечують робочими місцями 44 тис. службовців, із загальним доходом 7,5 млрд. \$ на рік.

Споживання кріпильних виробів по галузях промисловості становить:

- * Автомобільна промисловість - 42%,
- * Аерокосмічна - 14.3%,
- * Інша - 43.7%.

Номенклатура кріпильних елементів:

- * Зовнішня різьба - 40%,
- * Кріплення для аерокосмічної промисловості - 21%,
- * Без різьблення - 13%,
- * З внутрішнім різьбленням - 11%,
- * Інші фасонні деталі - 9%,
- * Нестандартні - 6%.апрвр

1.1 Якість гладкорізьбових з'єднань.

На початку 1970-х років саморізи широко застосовувалися у виробництві і ремонті. З 1975 року почалося інтенсивне вивчення складальних процесів для отримання гладких різьбових з'єднань. У 1975 році розроблені стандарти ГОСТ 22042-76, ГОСТ 22043-76 на гвинти для гладких отворів.

Основою для опису процесів різьбовидавлення кріпильними елементами з'явилися процеси розкочування внутрішніх різьб за допомогою розкатники [14,4,18,]. У чомусь ці процеси схожі (розміри різьби, міцність профілю), проте різьбоутворюючий елемент має інше призначення і працює в різних умовах. Різьбове кріплення виконує подвійну функцію(інструмент-деталь), має меншу міцність в поперечному перерізі в порівнянні з розкатниками інструментом і пред'являє високі експлуатаційні вимоги.

За своїми властивостями гладкорізьбове з'єднання надалі ГРЗ аналогічні з'єднанням з натягом по середньому діаметру. Натяг забезпечує високі стопорящі властивості, але в той же час викликає

значний крутний момент згвинчування, а це призводить до зниження надійності збірки і поганої керованості процесом. Однак для з'єднань по ГОСТ 4608-81 різьблення в гнізді утворюється по ГОСТ 1411188-82, що збільшує трудомісткість складальної операції і вимагає сортування гвинтів на селективні групи для створення однорідних натягів[6].

При складанні ГРЗ внутрішня різьба видавлюється західним витком гвинта. Стопоріння відбувається за рахунок сили тертя, що виникає на вершинах різьби по зовнішньому діаметру і бічних сторонах профілю. Після деформаційна усадка корпусного матеріалу забезпечує радіальний натяг і надійне стопоріння з'єднання. Н.С. Буткін [21] виявляє, що значення коефіцієнта стопоріння (відношення моменту відгвинчування до моменту загвинчування) знаходиться в межах 0.7 ... 1.1 для корпусів з магнієвих (менші значення) і алюмінієвих (великі значення) сплавів.

Монтаж різьбоутворюючих кріпильних деталей має певну специфіку:

1. Кріпильний елемент загвинчується в гладке отвір для гвинта, а в окремих випадках сам попередньо його свердлить;
2. Геометрія різьбоутворюючих ділянок кріпильних елементів різноманітна, також як і принципи формоутворення;
3. Процес складання з'єднань супроводжується значними крутними моментами;
4. Стопоріння кріпильних-різьбоутворюючих деталей проводиться дією післядеформаційної усадки отворів, в інших випадках затягуванням по спеціальним різьбовим ділянкам з особливим профілем різьби, в інших випадках застосовуються додаткові елементи або деталі на стержнях (гладкі пояски, вставки, шайби і т.д.);
5. Початковий момент загвинчування кріпильно-різьбоутворюючих деталей як правило нестійкий, що вимагає особливих умов і засобів орієнтування для суміщення осей;
6. Наведені елементи виступаючих частин деталей конструктивно різноманітні (шліци, хрестовіпази, шестигранні головки і отвори, різьбові ділянки, рифлення і т.д.);
7. Складально-різьбоутворюючі вироби застосовуються в різних видах виробництв, від дрібносерійного до масового. Для цього потрібно використовувати відповідні засоби механізації та автоматизації.

Різнманітні також і галузі, що використовують цю технологію: приладобудування, машинобудування, електроніка, будівництво,

ремонт транспортних засобів і т.д.

Необхідно враховуватись, що рівень автоматизації і механізації процесу різьбо загвинчування досить низький. Для даного типу виробництва характерне застосування переносних і портативних загвинчуючих пристроїв. При автоматизованій збірці можливо виникнення наступних бракоопасних і критичних ситуацій (рис. 1.2):

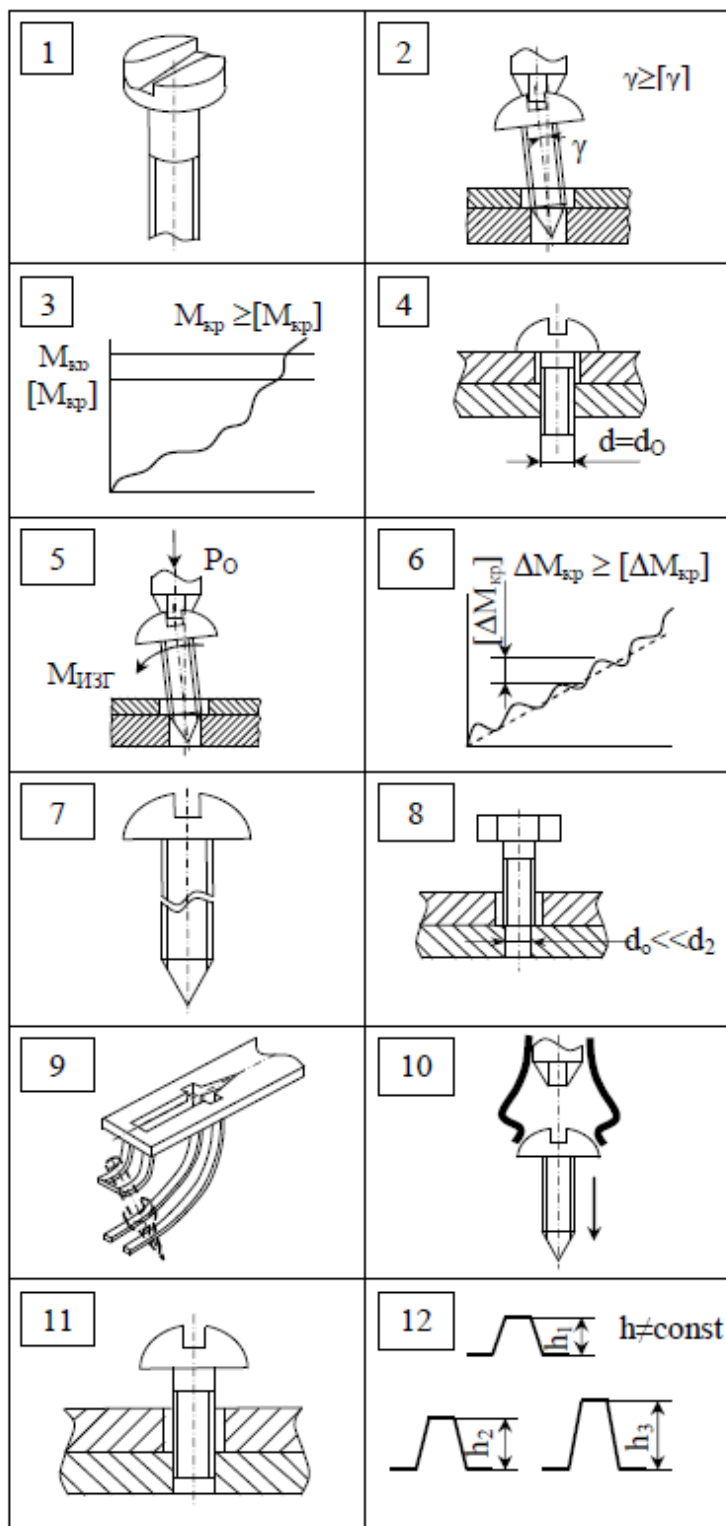


Рис. 1.2. Браконезпечні ситуації

1. Зрив шліца або паза в голівках;
2. Перекуси гвинтів вище критичних значень;
3. Високі значення крутних моментів;
4. Провертання гвинта (немає затяжки через перевищення d_0 щодо розрахункових значень);
5. Нестійкий стан гвинта в початковий момент збірки (вивертання);
6. Коливання крутного моменту при закручуванні;
7. Зріз стержня гвинта;
8. Гвинт не загвинчується (заниження d_0);
9. Не спрацьовує завантажувальний пристрій;
10. Випадання гвинтів з губок пристрою (живильника);
11. Недостатнє затягування гвинта;
12. Коливання висоти профілю;
13. Зрив різьби;
14. Зниження стопорних (fixing) якостей;
15. Поява тріщин.
16. Виникнення поверхневих дефектів: лушіння, викришування, складки, тріщини, що є концентраторами напружень і вірогідним місцем руйнувань.

Основними причинами виникнення поверхневих дефектів є:

- 1) Причини, пов'язані з геометрією - накатування в заповненому контурі, що призводить до осьового зміщення поверхневих шарів металу[19].
- 2) пов'язані з кінематикою процесу накатування – неспівпадіння шляхів проходження робочих поверхонь інструмента по поверхні різьби, що накатується.

1.2 Геометричні параметри різьбоформування.

Крутний момент – основний фіксуємий показник якості з'єднання.

Крутний момент затяжки складається:

$$M_{кр.з.} = M_{кр.р.} + M_{кр.тер.} + M_{кр.пов.} < [M]_{доп.}$$

де $M_{кр.р.}$ – крутний момент, що виникає на західному конусі або крутний момент різьбоформування;

$M_{кр.тер.}$ – крутний момент тертя в різьбовій парі;

$M_{кр.пов.}$ – крутний момент тертя головки гвинта о поверхню деталі;

$[M]_{доп.}$ – допустимий крутний момент, що визначається як і з умови прочності стержня гвинта, так і з умови прочності різьби корпуса.

Зменшення $M_{кр.м}$ затяжки або звинчування може досягатись не тільки застосування змащування, але і зменшенням величини діаметрального натягу. Бластивості блокування з'єднання визначаються відношенням $M_{кр.розвинчування}$ до $M_{кр.звинчування}$. Для гладкорізьбових з'єднань це відношення складає 0.6...0.9 і воно тим більше, чим більше коефіцієнт заповнення профіля η (відношення висоти формуємого профіля до висоти профіля різьби гвинта (рис. 1.3). Експерименти показують, що з'єднання краще виконувати по принципу відкритого контуру. Коли $H^1 < H$,

Де H^1 – це висота формує профіля,

H – висота профілю різьби,

r – зовнішній радіус гвинта.

r_0 – радіус під накатування, рівний середньому радіусу для стандартних різьб з нормальною канавкою.

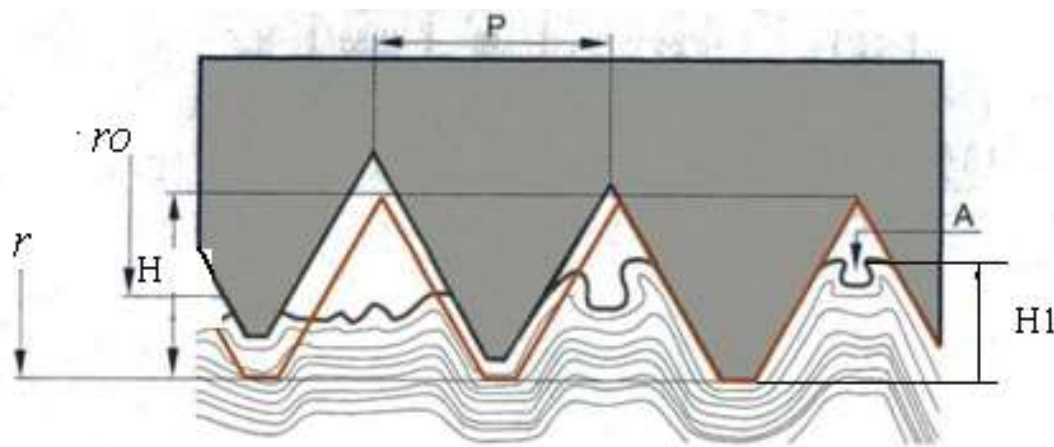


Рис. 1.3. Параметри профілю формуємої різьби.

Діаметральний натяг або коефіцієнт заповнення профілю є параметром від якого залежить як надійність процесу складання, так і стопорні якості з'єднання. Тому величина заповнення профілю є важливим параметром, що визначає статичну міцність різьбового з'єднання.

1.3 Кінематичні параметри різьбоформування.

Умови формування профілю різьби є однією і з основних причин виникнення поверхневих дефектів, що пов'язані з кінематикою процесу різьбоформування. Профіль різьби виробляється багаторазовою та послідовною копією гвинтового профілю. Видавлювання профілю відбувається за рахунок перезподілу елементарних об'ємів металу корпусу, що витісняється витками забірною конуса гвинта і калібрування витками циліндричної частини.

Процес формування внутрішньої різьби супроводжується утворення «кратеру» на вершинах її виступів (рис. 1.3, показаний стрілкою А). Виникнення «кратеру» з позиції теорії пластичності [8] пояснюється особливостями течії жорстко-пластичного тіла при деформації. Звичайно, що обтискання вершин «кратера» відбувається при значних величинах радіуса западини витка гвинта, при невеликих радіусах відбувається змикання сторін «кратера». Обтискання вершин профілю призводить до переповнення профілю, збільшення крутного моменту або руйнування з'єднання.

В процесі різьбоформування гвинт повинен переміщатися в осьовому напрямку точно по кроку, тобто будь-яке обертання гвинта повинно відповідати його конкретному осьовому руху. Ось різьби гвинта повинна мати незмінне положення. Однак, занурюючись в метал, гвинт зустрічає осьовий спротив, який він не може подолати тільки спираючись на вже сформовані витки різьби. При створенні декількох надмірних сил, що діють на гвинт, сам гвинт починає порушувати правильний рух гвинта. Надлишкові сили можуть направлятися уздовж або перпендикулярно осі різьблення.

Достатньо надійна орієнтація гвинта може запобігти зустрічній течії металу, що виявляється в утворенні складок, тобто зовнішніх дефектів.

Основним критерієм працездатності кріпильних різьбових з'єднань є міцність. Відомо, що поломки різьбових деталей в більшості випадків носять втомний характер, тобто пов'язані з дією змінних напруг, при цьому рівень напружень від зовнішнього навантаження може бути порівняно невисокий, менше, ніж допустимий при розрахунках по статичній міцності. З аналізу факторів, що визначають працездатність різьбових елементів в умовах циклічного навантаження, відомо, що

дефекти конструктивного характеру складають приблизно 11%, технологічного- 47%, дефекти матеріалу-4%, дефекти, що виникають в процесі експлуатації - 38% [9]. Запобігання поверхневих дефектів в різьбі можливо шляхом зниження ймовірності механічних пошкоджень при накоєнні і забезпеченням симетричності деформування металу за рахунок: накоєування різьблення в незаповненому контурі витків різьби; забезпечення мінімального розсіювання розмірів по кроку, кутах підйому і профілю витків гвинта; забезпечення осьової подачі гвинта. Відомо, що статична міцність гладко-різбових з'єднань з величиною натягу від 30%, до 100%, отриманих само затягування вище, ніж у з'єднань з нарізаною різьбою в 1.5-2 рази, тоді як циклічна довговічність часто виявляється навіть нижче.

Відомо про очевидне вплив зовнішньої осьової сили на симетричність наклепу за величиною і градієнту на протилежних сторонах западини формованого профілю, що вказує на її вирішальну участь у формуванні картини залишкових напружень в зоні найбільших деформацій, є також зоною концентрації напружень [10]. На рис 1.4 показана картина ізосклер (ліній, що з'єднують точки з однаковим рівнем твердості матеріалу) в осьовому перерізі внутрішньої різьби. При установці гвинта в гладке отвір найбільш високі значення мікротвердості зафіксовані біля кореня різьблення, тобто в зоні найбільших деформацій і зміцнення матеріалу деталі.

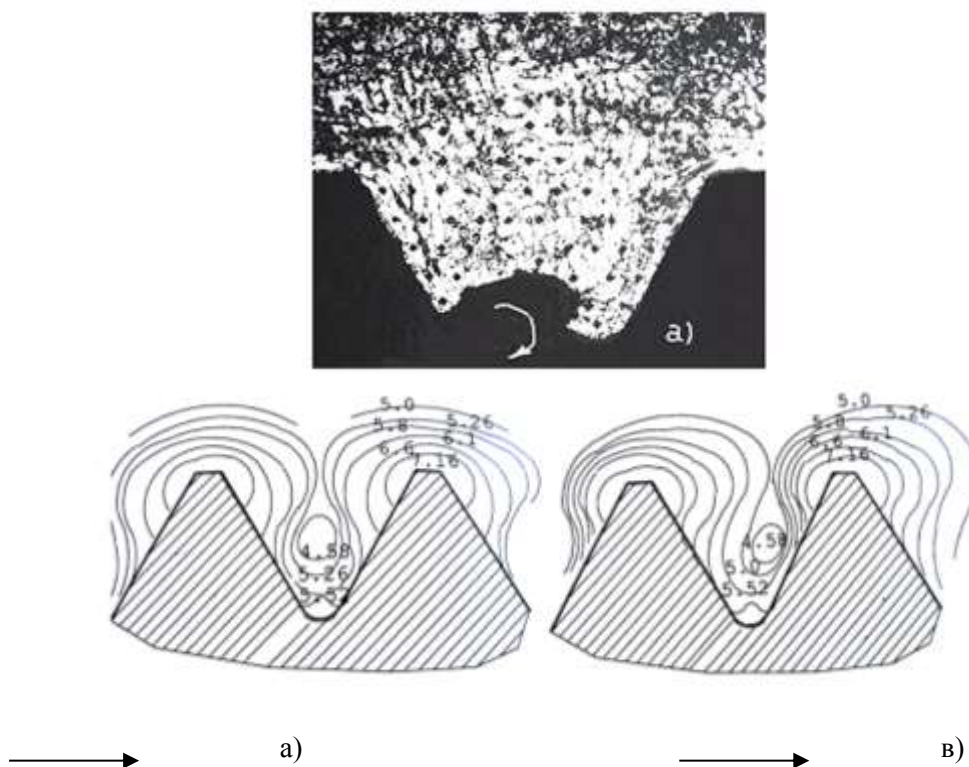


Рис. 1.4 Картина ізосклер:

а) профіль витка з точками вимірів; твердість матеріалу в Па (цифри при кривих означають рівні мікротвердості, стрілки вказують напрямок ввертivanja гвинта): б - при ввертыванні в гладке отвір з прямою подачею; в - теж, але способом самозатягування.

Асиметричне течії металу вказує на додаткове, викликане некомпенсованих осьової складової сили різьбоформування, течії металу, що накладає спотворення на стискаючі залишкові напруги.

На рис. 1.5 видно дві важливі області формування внутрішнього різьбового профілю: I - область впровадження деформуючий межі західна витка; II - область між бічними сторонами витків. У першій діють найбільші стискаючі контактні напруги і в ній сітка ліній ущільнена найбільшим чином. У другій зоні по вертикальній осі видно явні розширення ліній сітки. Це свідчить про дію найбільших розтягують напружень, збільшуються від глибинних областей до вершини витка. У поперечній площині діють стискаючі напруги і тим самим забезпечується затікання металу в западину.

Тильна сторона західна витка при закручуванні ковзає по лінії n-n, не викликаючи особливих викривлень прилеглих ліній, що свідчить про дію на цій ділянці зрізують напружень від косого різання. Ці напруги кратно менше напружень, що діють в I області.

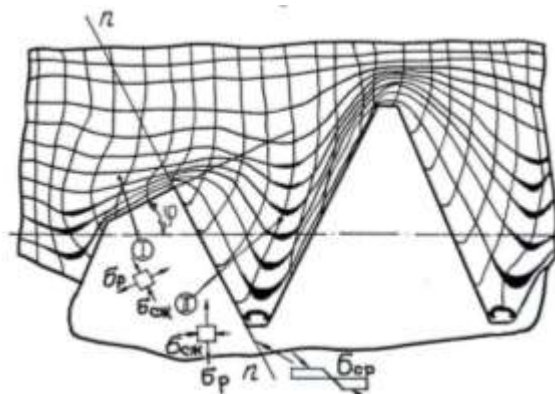


Рис. 1.5. Картина викривлень координатної сітки свинцевих зразків після впровадження західної частини різьби.

Оскільки якість різьблення визначається якістю нитки, основним критерієм визначення технологічних параметрів різьблення повинна стати якість затягування різьблення. Вважається, що з'єднання з різьбоформуючими гвинтами працюють в умовах знакозмінних навантажень. Основна причина, конструкційні матеріали набагато менш довговічні, ніж можна було б очікувати. Вони мають тріщини, як

недоліки, які створюють велику місцеву напруженість. Ці недоліки можуть виникнути як випадково, так і в результаті технологічних і виробничих процесів.

Дефект (складка, тріщина) є місцем виникнення найбільшої концентрації напружень і найбільш вірогідним місцем руйнування. Особливо небезпечно виникнення дефекту на дні западини різьби, де виникає велика концентрація напружень. У різьбових з'єднаннях стрес розподіляється нерівномірно, перший виток має максимальне навантаження, яке може представляти 30% від загального навантаження. Також має місце висока концентрація напружень у канавці, коефіцієнт концентрації напружень в канавці першого витка складає 4... 10[11]. Не розповсюдженню зародкових тріщин перешкоджають стискаючі остатки і напруження в зміцненому шарі.

На рис.1.6 зображено перетин найбільш небезпечної ділянки різьби.

Оцінити вплив розташування дефекту на напружений стан в різьбі дозволяє модель складки у вигляді надрізу глибиною 4 мм і шириною 2 мкм, що розташований в западині найбільш навантаженого витка. Видно, що при відсутності тріщини (рис.1.6, а) найбільше напруження діє в точці, що розташована в зоні контакту радіусної ділянки і прямолінійної грані. Якщо тріщина (помічена рисою, рис.1.6, б) розташована на ділянці, що контактує з неробочим профілем різьби, то найбільш навантаженою є ділянка в зоні природної концентрації напружень. Якщо тріщина знаходиться в центрі западини (рис.1.6, в), максимум напруг переміщується в цю точку. У випадку попадання тріщини в зону природної концентрації напружень (рис.1.6, г) максимум напружень в цій зоні максимально збільшується[12].

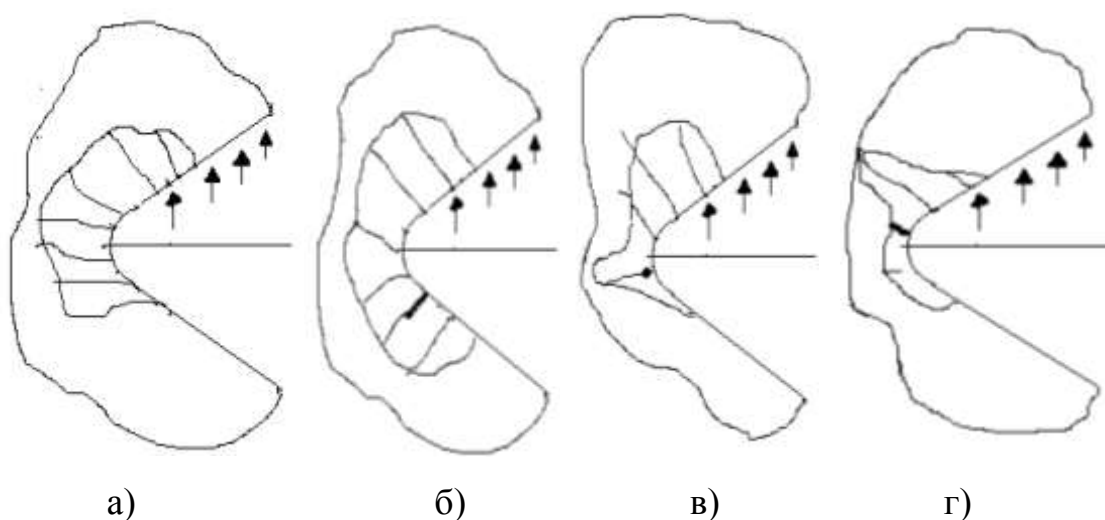


рис.1.6 зображено перетин найбільш небезпечної ділянки різьби.

Таким чином основними технологічними факторами впливу на експлуатаційні характеристики є: степінь деформації, параметри режиму накатування і кінематика взаємодії інструмента і заготованки.

Розділ 2. Забезпечення якості гладкорізьбового з'єднання.

2.1. Визначення раціонального діаметру під накатування.

Якість різьби буде залежати від правильного вибору діаметра отвору під різьба – d_0 . При завищеному значенні діаметра отвору робоча висота різьбового профілю буде недостатньою. Якщо він занадто малий сили деформації збільшуються, крутний момент збільшується, відбувається руйнування гвинта. Крім того, при значних контактних напруженнях збільшуються сили тертя, що призводить до збільшення температури в зоні контакту.

Традиційно діаметр отвору під накатування внутрішніх метричних різьб визначається із умови збереження постійності об'ємів до і після пластичної деформації. У цьому випадку, крім перерозподілу деформований метал також повинен враховувати такі явища, як згладжування шорсткості, міцність металу, умови тертя, осьові переміщення металу, необхідне стопоріння. Мається на увазі, що профіль різьби близький до трапеції, а параметри «кратера» невеликі, так як має місце інтенсивна течія металу як на бічних поверхнях, так і в середній частині витка.

Гвинти розрізняються типом різьби, конфігурацією західної частини і типом голівки з елементами передачі крутного моменту. Застосовується одна і багатозахідна метрична різьба з великим кроком, або різьблення для самонарізних гвинтів по ГОСТ Р ИСО 1478-93 (рис.2.1).

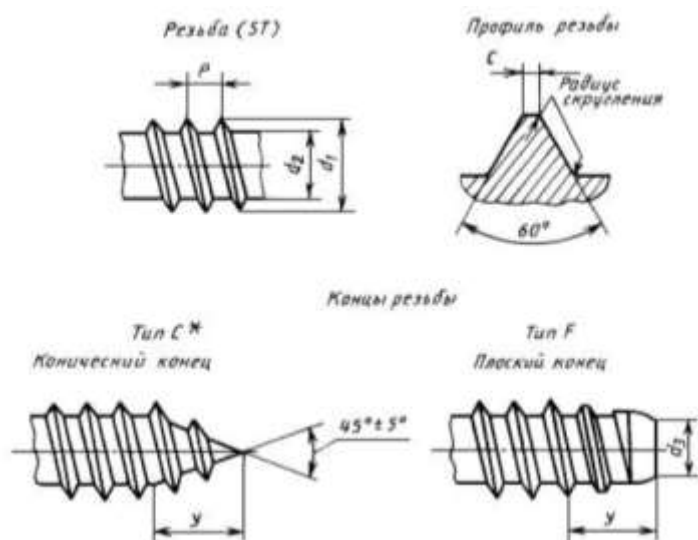
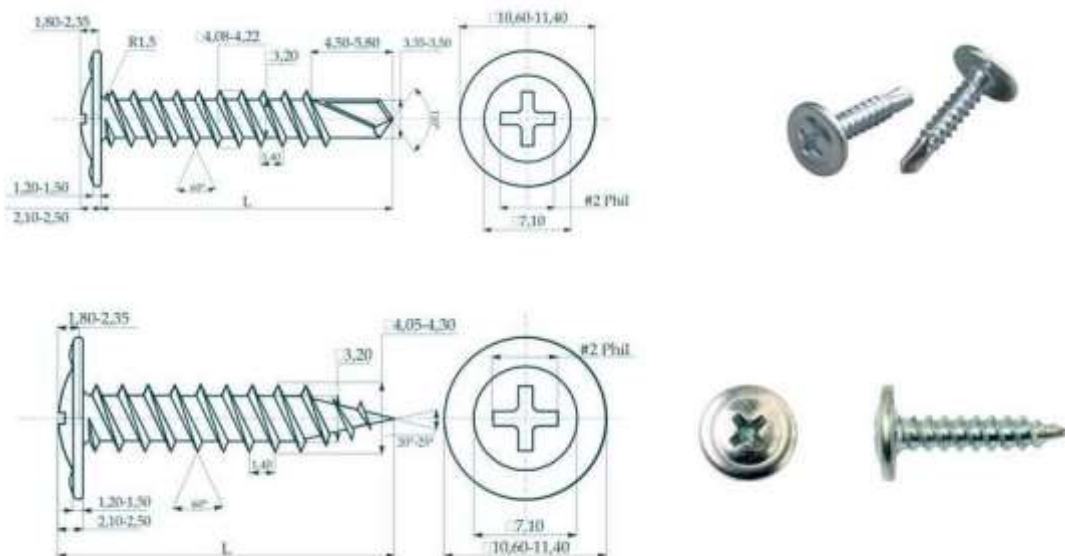


Рис.2.1. Профіль різьби по ГОСТ Р ИСО 1478-93.

Подібні до, наведених вище, гвинти зображені на рис. 2.2, вони мають широку канавку.



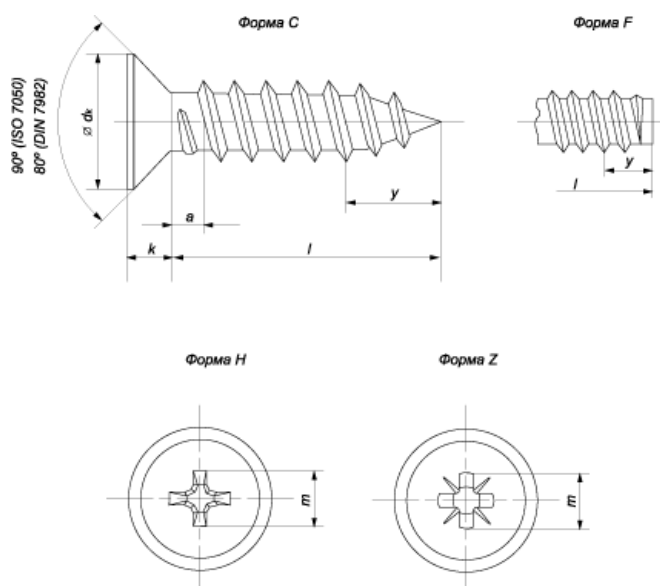


Рис. 2.2. Різьбоформуючі гвинти з широкою канавкою.

Профіль різьби, що формується такими гвинтами, відмінний від профілю різьби гвинта і із-за нерівності об'ємів витка гвинта і його западини, значення діаметра під накатування виходить заниженим, що не забезпечує достатньої статичної міцності і хороших стопорних якостей.

Значна ширина канавки гарантує не змикання сторін «кратера», що забезпечує компенсуючи об'єми і дозволяє розширити допуск на величину діаметра під накатування.

Для визначення раціональної величини d_0 необхідно:

1. проаналізувати закономірності формування профілю різьби формуючим гвинтом, що має широку канавку;
2. встановити геометричні параметри формуємого профілю;
3. ввести корекцію на згладжування нерівностей, міцнісні якості металу, умови тертя, осьове переміщення металу, необхідне стопоріння.

2.2 Аналіз картини пластичної деформації різьблення.

При вкручування в порожні виступаючості по краях огорожі конус поступово вводиться в матеріал, утворюючи ниткові жолоби, а вибитий метал, рухаючись по бічних поверхнях профілю, поступово збільшує висоту утвореної революції. У процесі пластичної деформації існують контактні стреси на поверхнях гвинта і заготовок. Основна робота по формуванню нитяний профіль виконана робочими виступами гвинта.

Отримання аналітичної залежності від радіальних зусиль з різьблення зводиться до визначення контактних стресів і областей.

Математичне вивчення стресів і деформацій в пластично деформованому тілі спрямоване на теорію пластичної пластичності.

Деформація в процесі різьблення характеризується тим, що рух або деформація відбувається всюди в одній площині.

Можна сказати, що деформація відбувається тільки в площині XU декартової системи координат і залишається тією ж самою для будь-якій площини $Z = \text{const}$. Такий стан називається плоскою деформацією. Розгляд завдань плоскої деформації є в роботах Надаї, Р.Жілла, Я.Кудо, В.В. Соколовського, А.Д.Томленова, А.А.Ілюшина.

Для цього випадку напружений стан в кожній точці характеризується накладення гідростатичного (середнього) тиску σ на напруги чистого зсуву τ . Напрямок майданчиків, на яких діють максимальні дотичні напруження, складають 45° з головним напрямком.

Це по суті деформація чистого зсуву головні напруження в цьому випадку являють собою однакові за величиною розтягують і стискають напруги σ_{\max} і σ_{\min} , що діють на площині, повернені на 45° по відношенню до тих площинах, на які діють максимальні дотичні напруження τ_{\max} . (Рис.2.3)

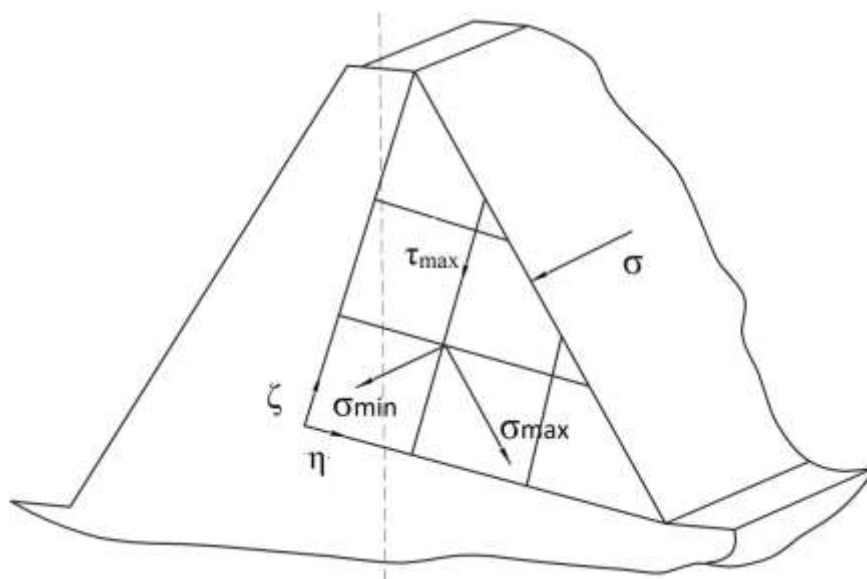


Рис.2.3 – Напряжение на грани деформирующего витка

За умовою Тріска пластичне течії матеріалу в певній точці починається і відбувається в тому випадку, коли максимальне дотичне напруження досягає граничної величини k , що дорівнює межі текучості на зсув:

$$\tau_{\max}=k=\sigma_B/2, \quad (2.1)$$

де σ_B - межа плинності при одноосьовому розтягуванні (стисканні).

Стан Тріски узгоджується з фізичними уявленнями про механізм пластичної деформації металів, так як про зрушення, що відбуваються в площинах, де тангенси досягли межі. Такі зрушення, що проявляються на поверхні деформаційних металів у вигляді ліній Людерса, спостерігаються в практиці обробки металів з тиском. Природні малюнки на поверхні деформованого матеріалу збігаються з лініями, по яких немає деформацій розтягування або стиснення. Такі лінії називають лініями ковзання (характеристиками) і в разі плоскої деформації лінії ковзання збігаються з траєкторіями максимальних дотичних напружень, що утворюють два ортогональних напрямки. Після цих напрямків утворює ортогональну сітку, що складається з двох систем ліній, дотичні до яких збігаються з напрямом найбільших дотичних напружень. Позначаються лінії ковзання першого і другого сімейства відповідно через ζ і η .

Метод ліній ковзання дозволяє не тільки обчислювати контактні напруги і деформують зусилля, але і повністю визначати поля напруг і швидкостей в перетинах деформованого металу і аналізувати локальні явища, які зазвичай є основними у вирішенні технологічних завдань. Характеристики плоского пластичного плину мають властивості дозволяють знаходити рішення графічним методом. Використання цього методу дозволяє нам визначити вид поля ліній ковзання, або його геометричні характеристики, які встановлюють залежність між максимальним дотичним напруженням і нормальним гідростатичним тиском, тобто шуканим деформуючим зусиллям, а також визначити вид і геометричні параметри формованого профілю, висота якого обмежується допустимою величиною переповнення профілю. Вид пластичної області, її поля ліній ковзання залежить від схеми пресування, а в нашому випадку, від параметрів деформуючого профілю.

Ці параметри визначаються геометрією західної частини гвинтів (або інших різьбоформуючі деталей) і різьблення. Так, різьблення може бути метричної стандартного профілю або має широкую різьбову канавку.

Західні частина різьби деталі виконується конусної, тоді виток набирає повну висоту за кілька оборотів, або циліндричної, тоді висота витка відновлюється за оборот або частину обороту. На рис.2.4. зображені поля ліній ковзання, що відповідають умовам, сформульованим вище.

Поле, представлене на рис.2.4, а, відповідає схемі пресування в клиновому контейнері і вирішення задачі теорії пластичності про стиснення металу між двома гладкими похилими плитами. В цьому випадку формуються одночасно обидві грані профілю різьби, що відповідає процесу різьбоформування деталлю з збірними конусом, коли сусідні виступи конічної частини гвинта поступово проникаючи в метал, збільшують висоту формованого витка з обох сторін.

Інша картина полів ліній ковзання відповідає випадку формування профілю витком, який повністю впроваджується в метал корпусу за один оборот гвинта. У цьому випадку формування граней профілю проводиться по черзі і такий процес подібний до прошивці плоским клиновим пуансоном, (рис.2.4, б).

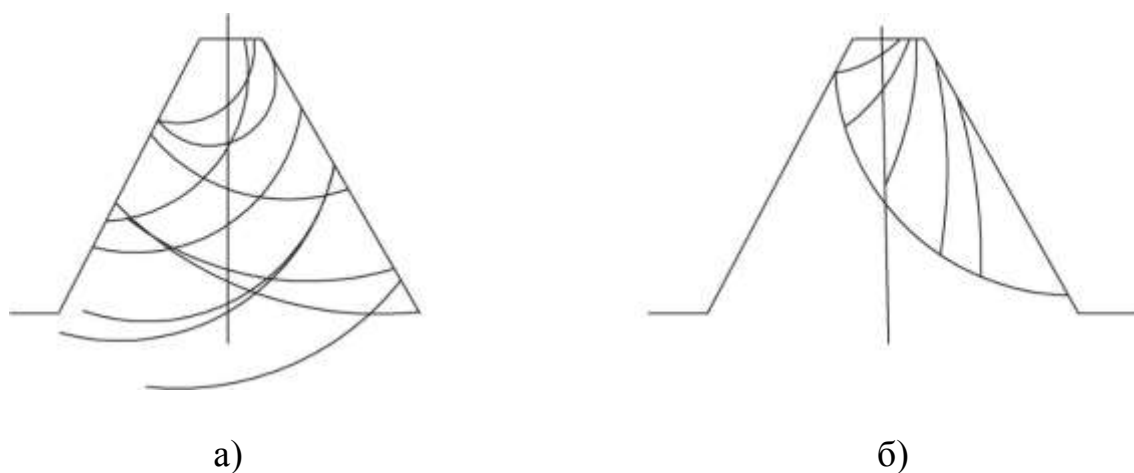


Рис.2.4 - Зона деформації при формуванні гвинтами двох типів: а) з західним конусом; б) з заходним витком.

Розглянуті випадки характерні для різьби стандартного профілю з нормальною канавкою. З картин полів ліній ковзання видно, що пластична область поширюється на всі перетин витка, а значить, має місце інтенсивне протягом металу в середній частині профілю. Тому метал заповнює всю канавочні область гвинта, профіль формованої різьблення в цьому випадку близький до трапецеидальної і повторює профіль гвинта, а параметри «кратера», про який згадувалося раніше, порівняно невеликі.

Оскільки такі процеси як: пресування (пряме і зворотне), прошивка, волочіння і редукування мають однакову область неоднорідного пластичної течії, то формально вони описуються типовою схемою, представленої на рис.2.5. Основними параметрами процесів є:

1) обтіснення заготовки $R = H^1 / H$ при плоскій деформації, тут H і H^1 - товщини заготовки відповідно до і після деформації; 2) γ - кут нахилу матриці

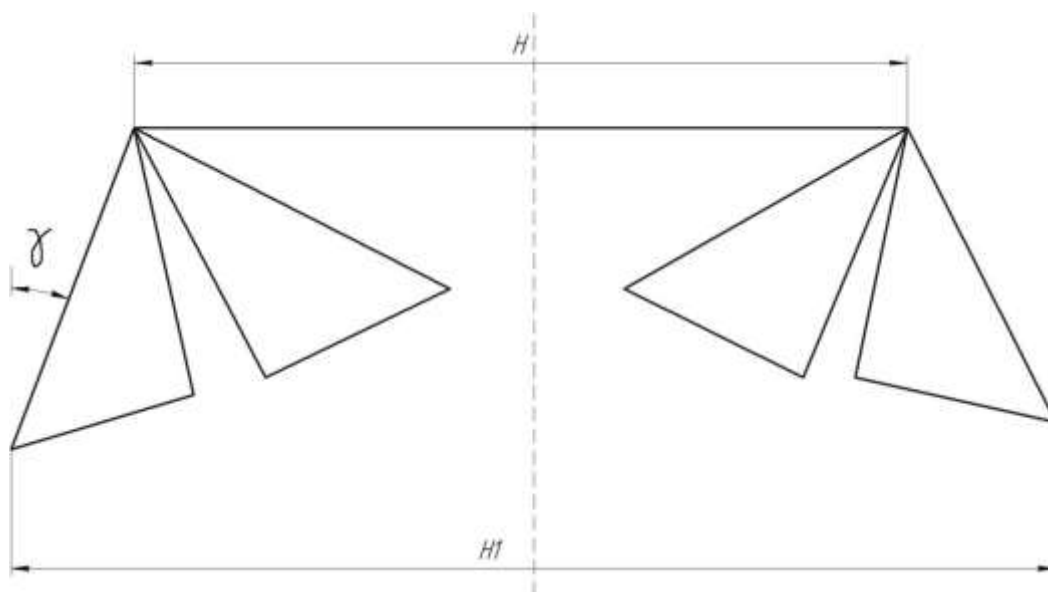


Рис.2.5-Типова схема пресування.

З теорії пластичності відомо, що побудова полів ліній ковзання, аналогічних розглянутим, справедливо якщо для кожного γ відносний стиск $R = H^1 / H$ не перевищує деякого значення. В наводиться, засновані тільки на геометричному поданні процесу, доказ, що якщо поля ліній ковзання, що належать протилежним похилим граням стосуються, тобто пластична деформація захоплює всю область витка, то справедливо співвідношення:

$$R = \frac{H^1}{H} = \frac{1}{1+2\sin\gamma} \quad (2.2)$$

Стверджується, що якщо R не перевищує розраховану по (2.2) величину, то деформація можлива за умови граничного навантаження при $\gamma < 42^\circ 27'$. Якщо $\gamma < 42^\circ 27'$, але H^1 / H перевищує наведену величину, то побудови, розглянуті в цьому параграфі, неможливі. В такому випадку рішення має інший вигляд, відповідний вирішення завдання щодо впровадження ідентора.

Для різьби самонарізних гвинтів $\gamma = 30$, тоді розраховане по (2.2) значення $H^1 / H = 1/2$. Параметри різьби самонарізних гвинтів, що мають канавку такі, що ставлення H^1 / H значно перевершує $1/2$. Тому картина полів ліній ковзання для пластичної області, формованої саморізами має вигляд, показаний на малюнку 2.5 і відповідає випадку впровадження ідентора в жорстко-пластичну область. Впровадження ідентора є прикладом нестационарної течії, в якому має місце геометрична подібність - незалежність форми пластичної області від глибини впровадження клина t . Таке рішення описує весь нестационарний процес впровадження клина. Зі збільшенням глибини впровадження пластична область тільки збільшується в масштабі, не змінився.

2.3. Визначення діаметра отворів для різьбоформування.

Діаметр отвору традиційно визначають і з збереження сталості об'єму до і після пластичної деформації з всіма можливими уточненнями і обмеженнями, що враховують умови тертя, якість міцності, величину допусків. Всі ці уточнення необхідні для зменшення ймовірності переповнення профілю витків гвинта. У разі метричної різьби стандартний профіль з нормальним діаметром канавки для різьби визначається з умови не тільки збереження сталості об'єму до і після деформації, але також умови подібності профілі різьблення і корпус. Відмінна від трапецієподібної форми перерізу потоки циклу профілю не можуть використовувати умову подібності. Оскільки умова сталості об'єму до і після пластичної деформації залишається в силі, необхідно визначити геометричні параметри фасонного профілю, а саме висоту підйому деформованого матеріалу [18]. Це можна зробити за допомогою розчину класична проблема теорії пластичності поглиблення дентари в жорстких пластичний приціл для побудови цього поля ліній ковзання (рис. 2.6).

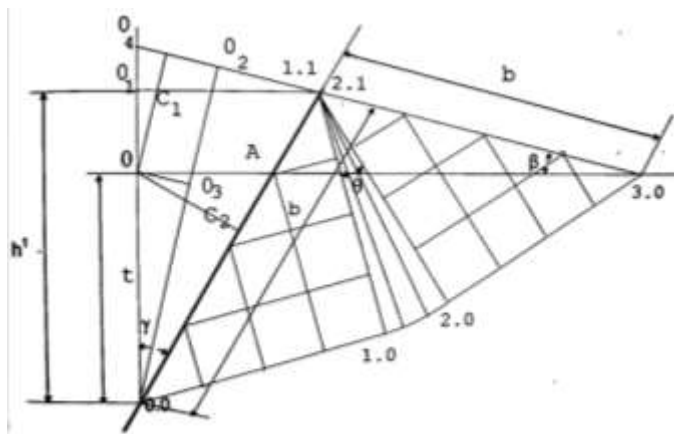


Рис.2.6. - Поле ліній ковзання для гладкого клина.

В наслідок симетрії побудови виконано тільки для правої сторони гладкого клну і півпростору. Кут γ дорівнює половині кута клину. Поле характеристик складається з двох областей 0.0-1.0-1.1 та 2.0-2.1-3.0, що мають однорідний напружений стан і об'єднані центруючим віялом 1.0-1.1-2.1-2.0.

$$b = h^1 / \cos \gamma, \quad (2.3)$$

де h^1 – висота зформованого профіля.

Тому визначається глибиною впровадження ідентора t , що спричиняє підйом металу уздовж бічної поверхні ідентора на загальну величину b .

Для цього використовуємо умови:

1)

$$\begin{aligned} t &= 0.0-O_1 - O.O_1 \\ t &= b(\cos \gamma - \sin \beta), \\ t &= b(\cos \gamma - \sin \beta), \end{aligned} \quad (2.4)$$

2) рівність площин трикутників 0.0-O-A і A-1.1,2.1-3.0 внаслідок нестисливості матеріалу.

Із рівності площин цих трикутників:

$$\begin{aligned} \frac{O_4 - 3.0 \cdot C_1}{2} &= \frac{b \cdot C_2}{2} + \frac{O_4 - 1.1 \cdot C_1}{2}; \quad C_2 \cdot b = C_1(O_4 - 3.0 - O_4 - 1.1) \\ &= C_1 \cdot b \end{aligned}$$

Наслідуює рівність довжин перпендикулярів C_1 і C_2 , що опущені із точки O на основи довжиною b

$$C_2 = O_1O_2 - O_1O_3,$$

$$t \sin \gamma = b \cos(\gamma - \beta) - t \cos \beta. \quad (2.5)$$

Виключаючи t і b із (2.3) і (2.4), якщо $t = b(\cos \gamma - \sin \beta)$, отримаємо

$$\begin{aligned} b \sin \gamma (\cos \gamma - \sin \beta) &= b \cos(\gamma - \beta) - \cos \beta b \cdot (\cos \gamma - \sin \beta), \\ \cos(\gamma - \beta) &= (\sin \gamma + \cos \beta)(\cos \gamma - \sin \beta), \end{aligned} \quad (2.6)$$

Що визначає кут β .

Із рисунку 2.6 і трикутника $A-1.1-3.0$ слідує, що $\beta = \gamma - \theta$ і тому залежність (2.6) може записати в вигляді

$$\cos(2\gamma - \theta) = \cos \theta / (1 + \sin \theta). \quad (2.7)$$

Важливі для отримання θ формули дині в Додатку А. Розрахована величина складає $\theta = 17^\circ$. Так як θ і β не залежать від t , то форма поля характеристик залишається незмінною рівномірно розширюючись по мірі впровадження ідентора. Ця якість подібності дозволяє легко визначити висоту підйому металу ($h^1 - t$) і глибину впровадження t в залежності від необхідної висоти формуємого профілю h^1 . Однак, виток різьби має форму не циліндричну, а спіральну. Вершина клину різьби гвинта знаходиться на зовнішньому діаметрі гвинта, тоді як вершина формуємого профілю знаходиться на внутрішньому діаметрі. Виходячи із цього, об'єм металу, що витісняється клином із області під лінією $O-3.0$, не рівний об'єму сформованої області над лінією $O-3.0$, що порушує умову рівності площин трикутників $O-0.0-A$ і $A-1.1, 2.1-3.0$. Тому лінія $O-3.0$ зміщується від центру до осі гвинта і займає положення $O_2-3.2$, визначаючи зараз значення d_0 (рис. 2.7). Так як трапеція $O-O_1-1.1-A$ є загальною для трикутника $0.0-O_1-1.1$ і трапеції $O-O_1-1.1-3.1$, то зручно порівнювати об'єми, отримані обертанням цих фігур навколо осі гвинта, а для зручності представимо їх сумою кількох простіших форм.

$$V_{(O_1-0.0-1.1)} = V_{(O_1-O_2-3.2-3.1)} - V_{(2.1-3.0-3.1)}$$

(2.8)

Важливі перетворення приведені в Додатку 1, результат наступний:

$$d_0 = \frac{\frac{1}{3}(r-h)\cos\beta + \sqrt{\left[\frac{1}{3}(r-h)\cos\beta\right]^2 + 4\left(\frac{1}{2} + \frac{2}{3}\cos\beta\right) - \frac{1}{3}\left[r^2\left(\cos\beta - \frac{3}{2}\right) + rh\left(\frac{3}{2} - 2\cos\beta\right) - h^2\left(\frac{1}{2} + \cos\beta\right)\right]}}{4\left(\frac{1}{2} + \frac{2}{3}\cos\beta\right)}$$

(2.9)

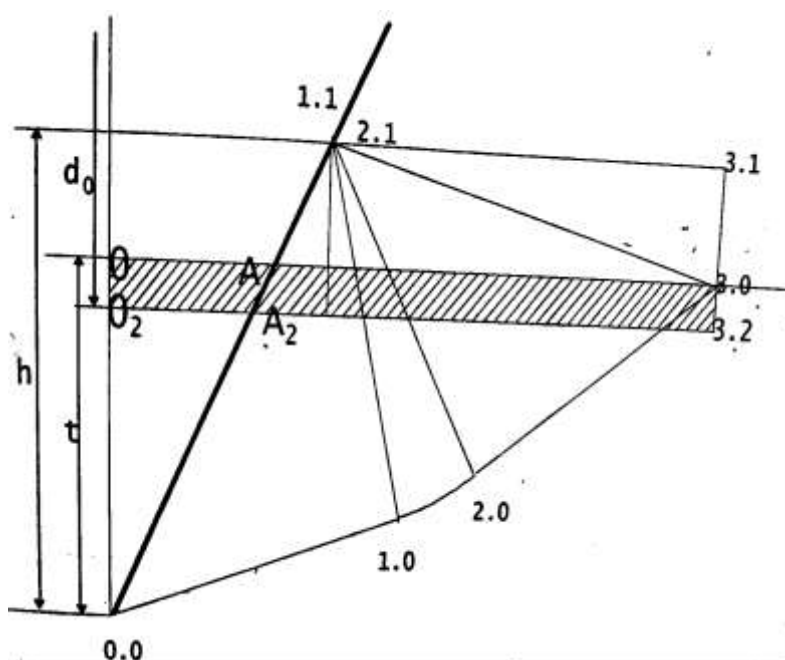


Рис.2.7. Схема визначення корекції від циліндричності для плоского видавлювання.

Розраховані значення d_0 для гвинтів по ГОСТ 10618-80 – ГОСТ 1061-80 і ГОСТ 11650-80 – ГОСТ 11652-80 знаходяться в таблиці 1 Додатків А.

Оцінимо величину корекції $\Delta t = OO_2$, тобто значення зміщення лінії О-3.0 до лінії O_2 -3.2. Для цього розглянемо об'єми чотирьох фігур:

V_1 – об'єм тіла, що описаний трикутником О-0.1-А;

V_2 – об'єм тіла, що описаний трикутником А-1.1-3.0;

V_3 – об'єм тіла, що описаний трапецією О- O_2 -А₂-А;

V_4 – об'єм тіла, що описаний трапецією А-А₂-3.2-3.0.

По теоремі Гульдена об'єм тіла, що описаний плоскою фігурою при обертанні її навколо осі, що лежить в площині цієї фігури і не перетинає її, рівний добутку площі цієї фігури на довжину окружності, що описана

при
обертанні центра ваги цієї фігури.

$$V_1 = \frac{1}{2} \pi t^2 \tan \gamma \left(\frac{d}{2} - t + \frac{t}{3} \right), \quad (2.10)$$

$$V_{12} = \frac{1}{2} \pi t^2 \tan \gamma \left(\frac{d}{2} - t - \frac{h-t}{3} \right), \quad (2.11)$$

$$V_3 + V_4 = \left[t \cdot \tan \gamma + (h - t) \left(\tan \gamma + \frac{1}{\tan \beta} \right) \right] \left(\frac{d}{2} - t + \frac{\Delta t}{2} \right) \pi \quad (2.12)$$

$$V_1 - V_3 = V_2 + V_4, \text{ або } V_1 - V_2 = V_3 + V_4.$$

$$(2.13)$$

$$\frac{t^2 \tan \gamma}{2} \left(\frac{d-2t}{2} + \frac{t}{3} - \frac{d-2t}{2} + \frac{h-t}{3} \right) = \left[t \cdot \tan \gamma + (h - t) \left(\tan \gamma + \frac{1}{\tan \beta} \right) \right] \left(\frac{d-2t}{2} + \frac{\Delta t}{2} \right) \Delta t; \quad (2.14)$$

$$t^2 = \frac{h}{3} \left[t + (h - 1) \left(1 + \frac{1}{\tan \gamma \cdot \tan \beta} \right) \right] (d - 2t + \Delta t) \Delta t \quad (2.15)$$

3 (2.4)

$$t = b(\cos \gamma - \sin \beta) = h \left(1 - \frac{\sin \beta}{\cos \gamma} \right).$$

$$\frac{t^2}{3} \frac{t}{\left(1 - \frac{\sin \beta}{\cos \gamma} \right)} = t \left[1 + \left(\frac{1}{1 - \frac{\sin \beta}{\cos \gamma}} - 1 \right) \left(1 + \frac{1}{\tan \gamma \cdot \tan \beta} \right) \right] (d - 2t + \Delta t) \Delta t$$

$$\frac{t^2}{3} = \left[\left(1 - \frac{\sin \beta}{\cos \gamma} \right) + \frac{\sin \beta}{\cos \gamma} \left(1 + \frac{1}{\tan \gamma \tan \beta} \right) \right] (d - 2t + \Delta t) \Delta t;$$

$$\frac{t^2}{3} = \left[1 - \frac{\sin \beta}{\cos \gamma} + \frac{\sin \beta (\tan \gamma \tan \beta + 1)}{\cos \gamma \tan \beta \tan \gamma} \right] (d - 2t + \Delta t) \Delta t;$$

$$\frac{t^2}{3} = \left[1 - \frac{\sin \beta}{\cos \gamma} + \frac{\sin \beta (\tan \gamma \tan \beta + 1)}{\sin \gamma} \right] (d - 2t + \Delta t) \Delta t;$$

$$\begin{aligned}\frac{t^2}{3} &= \left[1 - \frac{\sin \beta}{\cos \gamma} + \frac{\cos \beta}{\sin \gamma} + \frac{\sin \beta}{\cos \gamma}\right] (d - 2t + \Delta t) \Delta t; \\ \frac{t^2}{3} &= \left[1 + \frac{\cos \beta}{\sin \gamma}\right] (d - 2t + \Delta t) \Delta t; \\ \Delta t^2 + (d - 2t) \Delta t - \frac{t^2}{3(1 + 2 \cos \beta)} &= 0; \\ \Delta t &= \frac{-(d-2t) + \sqrt{(d-2t)^2 + 4 \frac{t^2}{3(1+2 \cos \beta)}}}{2};\end{aligned}\quad (2.16)$$

$$\frac{(d-2t)}{2} + \Delta t = \frac{\sqrt{(d-2t)^2 + 4 \frac{t^2}{3(1+2 \cos \beta)}}}{2} \quad (2.17)$$

Величина $\frac{(d-2t)}{2} + \Delta t$ являє радіус отвору для подальшої накатки і залежить від зовнішнього діаметра гвинта та глибини проникнення призматичного ідентора в напівплощину, величина якого легко визначається чисельно залежно від бажаної висоти сформованого профілю h' або взято безпосередньо з креслень жорсткопластичної області [7]. У таблиці 3 додатка 1, дані обчислюються з використанням формули (2.10) діаметрів для подальшого використання накатування.

Залежність (2.17) для визначення діаметра під подальше накопчення отримана з властивості подібності пластичної області в зоні деформації, і має простий вигляд, вигідно відрізняється від залежності (2.9), яка отримана традиційно з умови збереження сталості обсягів до і після деформації. Через меншовартості величини Δt (див. Додаток А, таблиця 1) нею можна знехтувати в деяких випадках (наприклад для гвинтів, що використовуються в монтажних роботах) і визначати d_0 із умови рівності площ впровадження клина і перетину сформованого витка, тобто безпосередньо, користуючись кресленням ліній ковзання.

Вирішення для шорсткого ідентора відмінно від гладкого тим, що лінії ковзання побудовані з урахуванням кута тертя δ , тобто

$$\theta_0 = \theta - \delta = \frac{\pi}{2} - (\gamma + \beta). \quad (2.18)$$

На рис.2.8 видно що із збільшенням δ збільшується довжина вільної межі 2.1-3.0, що приводить до розширення області 2.1-3.0-2.0. При цьому глибина впровадження ідентора t з збільшенням δ зменшується. Згідно із теорією В.В. Соколовського кути θ_0 і β не залежать від δ . Зменшення глибини впровадження ідентора від величини тертя розраховується на основі рисунка 2.9.

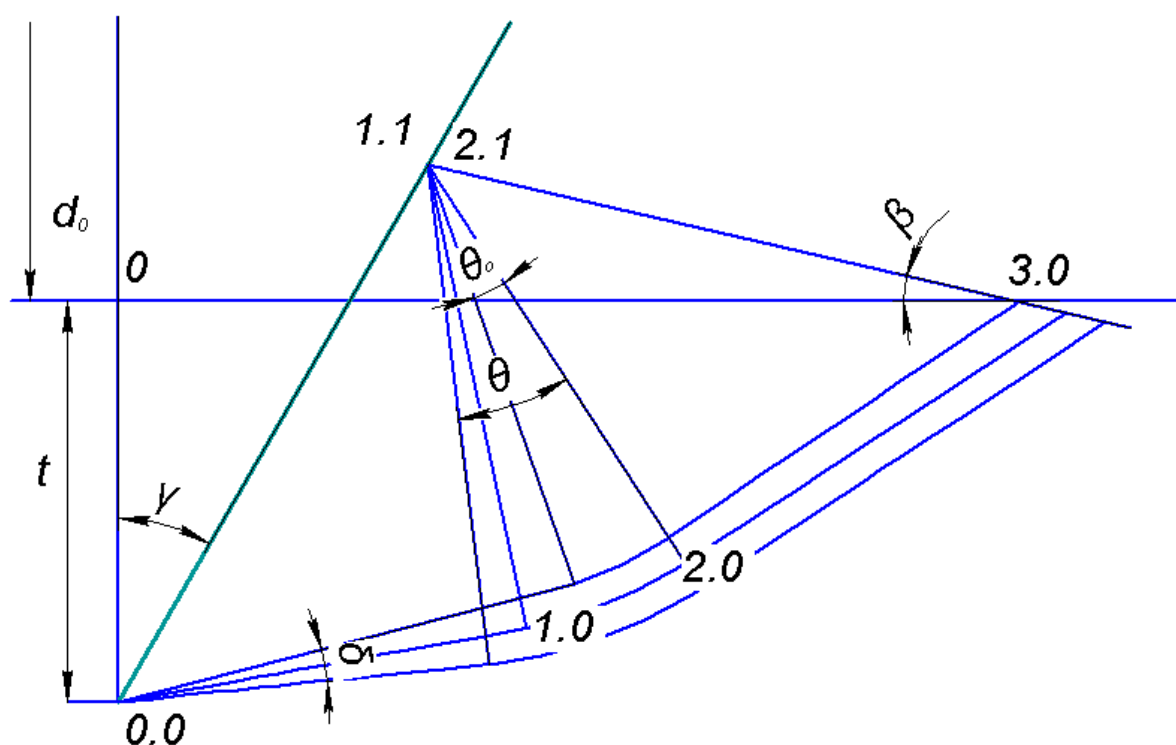


Рис.2.8. - Поле ліній ковзання для шорсткого ідентора.

$$\theta_0 = \theta - \delta = \frac{\pi}{2} - (\gamma + \beta). \quad (2.18)$$

Залежність (2.18) визначає кут розчину θ більшим, ніж для випадку абсолютного гладкого штампа, розглянутого раніше θ_0 , на величину кута тертя δ . При цьому кут β чисельно визначиться: $17^\circ = 90^\circ - (60 + \delta)$, рівним 13° . На малюнку 2.8 показано як збільшення кута тертя видозмінює картину поля ліній ковзання, відповідну впровадження жорсткого клина з кутом $\gamma = 30^\circ$. Видно, що зі збільшенням δ зростає довжина вільної кордону 2.1-3.0, що веде до розширення області 2.1-3.0-2.0 і «опускання» осі OX. При цьому глибина впровадження клина t зі збільшенням δ зменшується. Відповідно до теорії В.В. Соколовського, кути θ_0 і β не залежать від δ . Однак, умова нестисливості матеріалу як і раніше показує, що площа трикутника під віссю X, видавлюється клином, і площа трикутника над віссю X, утвореного витісненим пластичним матеріалом, повинні бути рівні між собою.

Оцінімо ступінь зменшення глибини впровадження клина від величини тертя, використовуючи для цього рис.2.9.

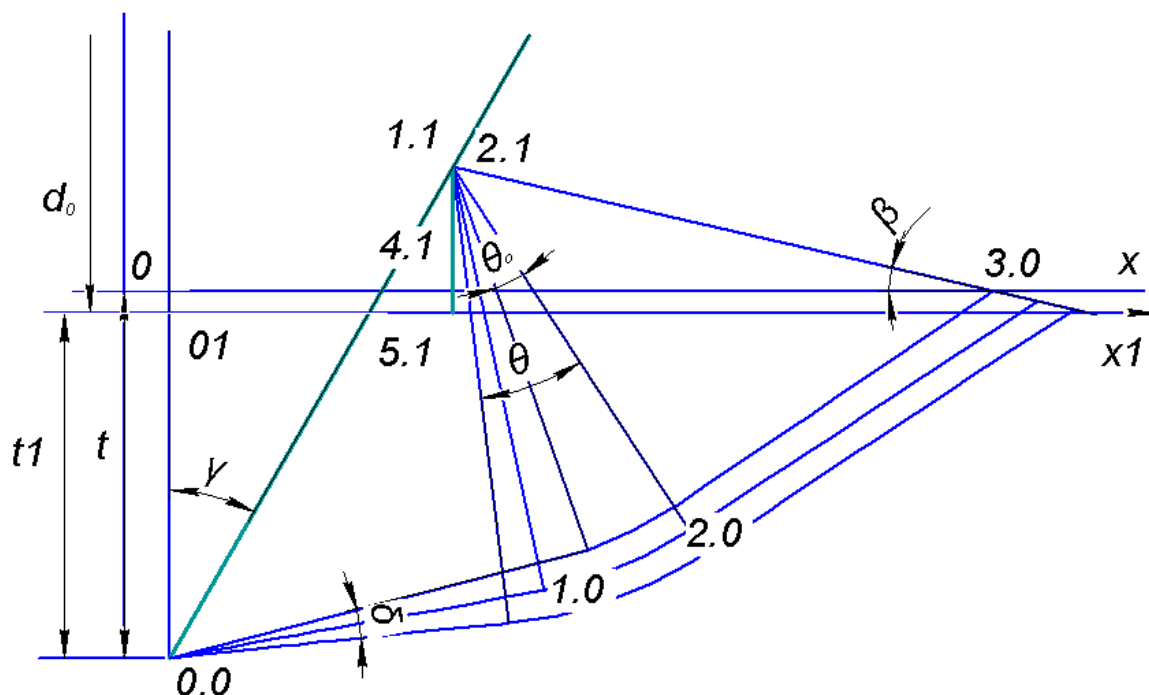


Рис.2.9. - схема для визначення корекції на d_0 від тертя.

Для абсолютно гладкого клина глибина впровадження - t , а довжина вільної межі - b . Для шорсткого клина глибина впровадження - t_1 , а довжина вільної межі збільшується до b_1 .

При цьому:

$$t - t_1 = (1.1 - 5.1) - (1.1 - 4.1),$$

$$1.1 - 4.1 = b \sin \beta,$$

$$1.1 - 5.1 = b_1 \sin \beta.$$

У трикутниках 0.0-1.1-1.0 і 1.1-2.0-3.0 боку, розташовані під кутом θ_0 один до одного, рівні і це рівність зберігається зі зміною кута тертя θ . З рівності цих сторін маємо:

$$b_1 = \frac{b \sin(45^\circ + \delta)}{\sin 45^\circ}, \quad (2.19)$$

$$5.1 - 1.1 = \frac{b \sin(45^\circ + \delta)}{\sin 45^\circ} \sin \beta, \quad (2.20)$$

$$t - t_1 = \frac{b \sin(45^\circ + \delta)}{\sin 45^\circ} \sin \beta - b \sin \beta = \frac{h'}{\cos \gamma} \sin \beta \left[\frac{\sin(45^\circ + \delta)}{\sin 45^\circ} - 1 \right],$$

(2.21)

$0 < \delta < 45^\circ$.

Обчислення значення $t-t_1$ за формулою (2.21) для абсолютно гладкого клина: $t-t_1=h'0$, а для цілком шорсткого: $t-t_1=h'0.107$.

Р. Мізесом [20] були проведені обчислення в безрозмірних змінних з характерною довжиною $2p/k$ для різних кутів при цілком гладкому і шорсткому клині. Безрозмірна глибина впровадження клина з кутом $\gamma = 30^\circ$. при цілком гладкому клині склала 0.248, а при цілком шорсткуватому клині склала 0.135. Різниця, обчислена Р. Мізесом становить 0.113. Обчислена на підставі аналізу геометрії зони деформації, становить 0.107. Це підтверджує вірність певного нами характеру зміни величини впровадження клина при зміні умов тертя.

Отримана раніше залежність для визначення d_0 за формулою (2.10) тепер потребує корекції. Для цього d_0 збільшується на величину $2(t-t_1)$, яка враховує коефіцієнт тертя на контактній площині, що залежить від матеріалу корпусу, гвинта або його покриття. Таблиця 2 Додатка А містить значення d_0 для різних умов тертя.

Методика визначення d_0 під накатування деформуючими гвинтами, що побудована на основі теорії пластичності, а саме вирішення задачі о впровадженні клина в жорстко-пластичну область, дозволяє моделювати будь яку комбінацію умов різьбоформування (умови тертя, герметичність, точність з'єднання) для будь яких сполучень висоти профілю різьби і ширини різьбової западини. Величина d_0 , що розрахована по цій методиці менша, ніж традиційно прийнята рівною $\frac{1}{2}h$, а допуск на діаметр під різьбу може бути збільшеним в порівнянні з метричною різьбою за рахунок компенсації «кратером» різьби.

Таблиця 2.1 - Поправочний коефіцієнт k на d_0

Матеріал	НВ	Коефіцієнт k
Алюминієвий сплав АД1	27	1.038
Алюминієвий сплав Д1Т	138	1.018
Латунь ЛС 59-1	106	1.014
Сталь 10 (горячекатанная)	124	1.016
Сталь 20 (поковка)	108	1.007
Сталь 45 (отожженная)	152	1.023
Сталь 35 (холоднотянутая)	218	1.034

Оцінити ступінь поправки, внесеної коефіцієнтом k на величину d_0 , найкраще на прикладі. В дані розраховані тільки з геометричних міркувань значення d_0 . Для різьблення М6 стандартного профілю $d_0=5.4+0.06$. Коефіцієнт k ставиться під знаком радикала, тому для сталі 10 оптимальне значення $d_0=5.443$ мм. Значення поправки, внесеної коефіцієнтом k , входить в поле допуску на розмір, а значить незрівнянно мало в порівнянні з впливом на d_0 сил тертя. Ступінь впливу висоти підйому витка на $M_{кр.}$ будет рассмотрена в следующих параграфах и оценена возможность расширения поля допуска на d_0 .

Методика визначення d_0 під накочення різьбоформіруючий гвинтами, побудована на основі теорії пластичності, а саме рішення задачі про впровадження клина в жорсткопластичну область, має безсумнівні переваги в порівнянні з традиційним методом, що використовує властивість збереження сталості обсягів до і після деформації:

- залежність для d_0 має простий вигляд;
- надається можливість моделювати будь-яку комбінацію умов різьбформування (умови тертя, герметичність, точність) для будь-яких поєднань висоти профілю гвинта і ширини різьбовій западини, а навіть тільки для одного ГОСТ-10618-80 - 10621-80 відношення висоти профілю до ширини різьби западини не змінюється пропорційно зі збільшенням діаметра різьби, а це впливає на вибір величини заповнення профілю;
- наочність методу дозволяє отримати рішення геометрично;
- величина d_0 , розрахована за запропонованою методикою менша, ніж прийнята $\frac{1}{2} h$, а допуск на d_0 може бути збільшений в порівнянні з нормальними метричними різьбами за рахунок компенсації похибки «кратером» різьблення.

У цьому параграфі наведено метод аналітичного розрахунку діаметра під накочення, заснований на використанні властивості

подібності полів ліній ковзання, доведено необхідність введення корекцій на круглість гвинта і коефіцієнт тертя. Обґрунтовано доцільність використання розглянутих геометричних побудов також для призначення раціонального коефіцієнта.

У промисловості та будівництві використовують Self-Drilling Thread-Forming Screws, ефективність яких визначається Усунення необхідності попередня свердління отворів в деталях, що з'єднуються, Нарізання, або відавлювання різьбі і точного базування Гвинт в отворі при різьбо формуванні. Цей метод забезпечу високу продуктивність і якість з'єднання, підвищення статичної і утомної міцності різьбі у порівнянні з різьбою, що нарізана.

2.4. Визначення силових параметрів різьбоформування.

Момент крутний різьбоформування є визначним фактором надійності процесу збирання і статичної міцності з'єднання. Найбільше допустиме значення величини $M_{кр.}$ обмежується із міркувань заповнення профіля витка, а необхідне менше значення повинно бути достатнім для того. Щоб деформація перейшла в пластичну стадію безпечна величина заповнення профіля витка гвинта забезпечується при розрахунку діаметра під накатування. Необхідне значення $M_{кр.}$ різьбоформування, як і осьова сила, визначається на основі необхідної питомої сили різьбоформування.

Зусилля що виникають при різьбо формуванні є наслідком дії контактних напруг спротиву метала деформації на грані деформуючого витка. Для встановлення розрахункових залежностей зусиль різьбоформування необхідно визначити контактні напруги і площі, на які вони діють[13].

$$P_H = 2kb \left[\frac{\pi}{2} - \gamma + \delta + \frac{\cos \delta}{\cos \gamma} \cos(\gamma - \delta) \right],$$

де $k = n \cdot n_v \cdot n_H \cdot \sigma_t$ – величина дійсного опору деформації,

n – коефіцієнт виду деформованого стану опору деформації, рівний для двовірного стану 0,57,

n_v – коефіцієнт, що враховує вплив швидкості деформації, при невеликих швидкостях рівний 1,

n_H – коефіцієнт наклепу, що визначається за формулою :

$$n_H = \frac{\sigma_B}{\sigma_T} \cdot \frac{1}{1 - \psi} \left(\frac{\psi}{\psi_{III}} \right)^{\frac{\psi}{\psi - \psi_{III}}}$$

де σ_B – межа міцності,
 σ_τ – межа текучості при розтягненні,
 $\psi_{ш}$ – віднострезвуження в момент утворення шійки при
випробуванні стандартних зразків на розривання.
 ψ – середня степінь деформації. Для різьби 0,43,
 b – довжина контактної ділянки деформуємої грані витка.

На кожній ділянці витка гвинта діють нормальні і дотичні напруги спротиву деформованого матеріалу. Ці сили складають силу нормального спротиву P_H , осьову P_{oc} , і радіальну P_r , складові якої показані на рисунку 2.9.

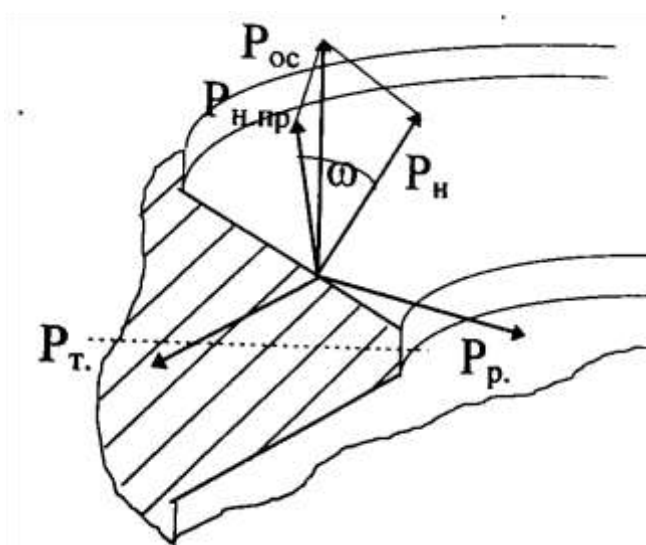


Рис.2. 9. – Сили, що діють на виток.

Розділ 3. Розробка стартап-проекту

3.1. Опис ідеї стартап-проекту

Ідея проекту полягає у розробці та забезпеченні технологій для кращої якості, довговічності та ефективності різбоформування. Основний напрямок використання продукції це автомобільна промисловість, промислове авіабудування та аерокосмічна. В таблицях 3.1 та 3.2 наведені перспективи такого проекту, сильні та слабкі місця.[22]

Таблиця 3.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробити нові технології для кращої твердості та самонарізних гвинтів.	автомобільна промислова, аерокосмічне та інше.	Спрощення та надійність кріплення

Таблиця 3.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні Характеристики ідеї	Потенційні товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Проект	Конкурент:	Конкурент:			
1	Ціна	+	-	-			+
2	Довговічність	+	+	+		+	
3	Легкість налагодження виробництва	-	+	+	+		
4	Наявність товару заміника	+	+	+			+
5	Швидкість виготовлення	-	+	-	+		
6	Дороге обладнання	-	+	+			+

3.2 Технологічний аудит ідеї проекту

На цьому етапі важливо провести технологічний аудит, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення продукту). Для проведення аудиту ми порушили такі питання: (Таблиця 3.3):

- За якою технологією буде виготовлено товар згідно ідеї проекту?
- Чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/доробити?
- Чи доступні такі технології авторам проекту
- Таблиця 3.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технологія її реалізації	Наявність технології	Доступність технології
	вдосконалити	Автоматична	Наявні	Важкодоступні

1.	існуючі технології	подача саморізів	потребує вдосконалення.	
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: розвитку технологій різьблення.				

За результатами аналізу таблиці, можна дійти висновку, що проект можливо запустити за всіма показниками.

3.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можуть бути використані при реалізації ринкового проекту та ринкових загроз, які можуть перешкоджати реалізації проекту, дозволяє спланувати розвиток проекту з урахуванням стану ринкового середовища, потреби потенційних клієнтів і пропозиції проектів конкурентів.

Спочатку проводиться аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (табл. 3.4).

Таблиця 3.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку(автомобільна промислова)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	380 фір
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	200млрд/рік
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обме-жень)	важливість конкурентів
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	є
6	Середня норма рентабельності галузі (або по ринку), %	42%

На далі визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формується орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл 3.5).

Таблиця 3.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Надійність, якість і довговічність	Автомобільна промисловість, аерокосміна та промислова авіація	Краща продуктивність та вища надійність.	Продукція повинна мати свою сертифікацію, а також виконувати свої функції відповідно до встановлених стандартів.

Після виявлення потенційних клієнтів проводиться аналіз ринкової кон'юнктури: готуються фактори, що сприяють реалізації проекту на ринку, і фактори, що перешкоджають його (Таблиця № 3.6 -3.7). Фактори в таблиці повинні бути представлені порядку зменшення значущості.

Таблиця 3.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	відсутність довіри з боку виробника	Недовіра до якості товару, відповідності документації, відповідності матеріалів.	Прозорість при виготовленні
2	дефекти або недоліки	дефекти або недоліки продукту на відміну від іноземного виробника	Попит на продукті

Таблиця 4.7. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можливареакція компанії
1	позиціонування на ринку	Закріплення позицій на ринку	Зменшення вартості виробника
2	основні послуги	Більший вибір для замовника	Розробка додаткових змін щодо існуючого продукту.

На далі було проведено аналіз пропозиції з визначенням загальних рис конкуренції наринку (див. табл. 3.8.).

Таблиця 3.8. Ступеневий аналіз конкуренції наринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства(можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Вид конкуренті	монополістична	зменшення вартість продукт
За рівнем конкурентної боротьби	Міжнародний	присутність на міжнародному ринку
За галузевою ознакою	Міжгалузева	Підвищення якості продукції
Конкуренція за видами товарів	Товарно-родова	зробити демонстрації для підтвердження якості продукції
За характером конкурентних переваг	Цінова	зменшення вартість продукт
За інтенсивністю	марочна	консолідуєте свій бренд на ринку

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 3.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	tormex.com	Диференціація провукті	Можливість закупівлі	Мало та середньосерійних підприємств	Велика кількість

			якісних матеріалів		
Висновки	Інтенсивність міжнародної конкуренції зростає.	Можливість входу на ринок існує, але зі складнощами по наладці виробництва	На міжнародному рівні великий вибір виробників	Клієнти вимагають найкращої якості серед різних виробників	Обмеження у виглядінших аналогів товару

Через конкурентну ситуацію існує кілька проблем, але завдяки простому та доступному дизайну існує можливість виробництва на ринку.

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності наведені в табл. 3.10.

Таблиця 3.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п/	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	розвитку додаткових модифікації до продукті.	впровадження додаткових послуг повинно залучати більше клієнтів, створюючи більше можливостей.
2	зменшення вартість на товар	При зменшенні ціни підвищується конкурентоспроможність товару

Завизначеними факторами конкурентоспроможності проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 3.11).

Таблиця 3.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/п/	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	розвитку додаткових модифікації до продукті.							+	
2	зменшення вартість на товар							+	

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (див. табл. 3.12).

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища.

Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

Таблиця 3.12. SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Ціна буде меншою за конкурентів	Слабкості: Конкуренція з міжнародними виробниками.
Можливості: розробка нових технологій	Загрози: Велика конкурентність інших виробників

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок. Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 3.13).

Таблиця 3.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п/	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Впровадження нових технологій	Можлива	6 місяців
2	Використовувати різні типи матеріалів	Можлива	1 місяць

Як найімовірнішу альтернативу ринкового впровадження стартап-проекту вибрано використовувати різні типи матеріалів, оскільки вона має найбільш стислі строки реалізації.

3.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розробка ринкової стратегії на першому етапі включає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (таблиця.3.14).

Таблиця 3.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п/	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Автомобільна промисловість	Повна	Середній	Високий	Середня
2	Аерокосмічні	Повна	Середній	Високий	Середня
3	Інше	Повна	Високий	Високий	Середня
Які цільові групи обрано: Автомобільна промисловість					

Обранам стратегія охоплення ринку: стратегія диференційованого маркетингу -робота із кількома сегментами, розробляючи для них окремо програми ринкового впливу.

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (табл. 3.15).

Таблиця 3.15. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п/	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Використовувати різні типи матеріалів	Простота та доступність	Аналіз та вивчення цін інших виробників	Стратегія заняття конкурентноспроможності

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 3.16).

Таблиця 3.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п/	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки

1	Ні	Шукати нових клієнтів, щоб спробувати позиціонувати себе на ринку.	Так, можливо скопіювати основні деталі.	Ринкова лідера стратегія
---	----	--	---	--------------------------

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляється стратегія позиціонування, що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект (див. табл. 3.17).

Таблиця 3.17. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п/	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
1	продукція повинна виконувати покладені функції, мають стандарти якості.	Стратегія заняття конкурентно-спроможності	Постійне вдосконалення продукту.	Якість, довговічність та надійність.

3.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару (табл. 3.18).

Таблиця 3.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п/	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед
--------	---------	----------------------------	------------------------

			конкурентами
1	Виконувати встановлені функції.	Якість та надійність.	Вища якість

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: уточняється ідея продукту, його фізичні складові, особливості процесу його надання (табл. 3.19).

Таблиця .19. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
Товар за задумом	розробка технології саморізів		
Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
	1. Автоматизація 2. Ціна	+	+
	Якість:використання міжнародних стандартів якості		
	Пакування: +		
	Марка: Fermacell screw		
Потенційний продукт захищений від копіювання: реєстрація торгової марки, корисна модель.			

Після формування маркетингової моделі товару слід особливо відмітити –чим саме проект буде захищено від копіювання. Захист може бути організовано зарахунок захисту ідеї товару (захист інтелектуальної власності), або ноу-хау, чи комплексне поєднання властивостей і характеристик, закладене на другому та третьому рівнях товару.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 3.20). Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 3.20. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п/	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня танижня межів встановлення ціни на товар/послугу
1	12-20\$	550 \$ / місяць	6-15\$

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (табл.3.21):

- Проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);
- Вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- Вибір та обґрунтування виду посередників.(Таблиця 4.21).

Таблиця 3.21. Формування системи збуту

№ п/п/	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Прямі продажі	Встановлення контакту, сортування, зберігання.	Внутрішній та зовнішній	структурована
2	Продажі з посередниками	Встановлення контакту, сортування, зберігання.	Внутрішній та зовнішній	структурована

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл.3.22)

Таблиця 3.22 -Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п/	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Пошук аналогів	Веб-сайт Інтернет	Самонарізний гвинт	Ціна, якість та вірність.	Довговічність, стійкість.

5.6 Висновки по розділу

Технологічну підтримку саморізів можна постійно вдосконалювати та розвивати, оскільки вона має великий попит на ринку, і тому її прагнуть мати кращу якість, надійність та відповідати призначеним роботам з усіма встановленими стандартами.

Висновки

Різьбові з'єднання працюють в умовах знакозмінних навантажень, їх якість визначається якістю різьби. Відомо, що працездатність різьбових з'єднань в умовах циклічного навантаження залежить в більшості від технологічного фактору. Виникнення не скомпенсованої осьової сили при різьбоформуванні викликає назадній рух металу, що призводить до появи поверхневих дефектів, особливо небезпечних в зоні концентрації напружень.

До того ж назадній рух спричиняє несиметричну течію металу, що призводить до формування несиметричного профілю різьби і збільшує величину крутного моменту.

Таким чином, умовами формування якісної різьби є:

- 1) Формування профілю різьби повинно відбуватися по принципу «відкритого контуру», коли $h^1 < h$.
- 2) Кінематика процесу різьбоформування повинна забезпечувати симетричне деформування, що не припускає осьових переміщень металу.

Список публікацій

1. Дмитренко Р. С1. Technological parameters of drilling by the Self-drilling screws. «ВІТЧИЗНЯНА НАУКА НА ЗЛАМІ ЕПОХ: ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ», 17 листопада 2018 р., (Вип. 46). Ст. 441-443, 519 . Конференція передбачає публікацію статті в електронному збірнику матеріалів, що буде розміщений на web-сторінці за адресою: <https://confscience.webnode.com.ua/>

Література

1. L Danylova, T Waiyaki. [Devices for mounting self drilling metal screws](#). – Mechanics and Advanced Technologies, 2019
2. Данилова Л.Н. Особенности устройств для установки саморезов // Технологічні комплекси. – Луцьк – 2011. – №3. С.106-110.
3. Якушев А.И., Мустаев Р.Х., Мавлютов Р.Р. Повышение прочности и надежности резьбовых соединений. - М.: Машиностроение, 1979. - 215 с.
4. Меньшаков В.М., Урлапов Г.П., Середа В.С. Бесстружечные метчики. -М.: Машиностроение, 1976. -167 с.
5. Березин С.Я. Сборочно – резьбообразующие процессы с силовой разгрузкой переходов резьбовыдавливания, технология и средства реализации: Дис...док. техн. наук. – Чита.2000. – 303с.
6. Новиков М.П. Основы технологии сборки машин и механизмов. -М.:Машиностроение, 1980. -632 с.
7. Оратівська Г.М., магістр, Біланенко В.Г., к.т.н., доц. Визначення складових сили різання для токарного оброблення. Тези доповідей загально університетської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів, присвяченої дню Науки. Секція "машинобудування", підсекція "технологія машинобудування"(2014)- К.:НТУУ"КПІ", ММІ, 2014р., С.132-133.
8. Ингер Х. Посадка резьбовых шпилек в цилиндрические отверстия деталей с самонакатыванием резьбы // Технология и оборудование механосборочного производства: Экспрес-информация. - М.: ВИНТИ, 1975. - № 26. С. 35 - 28.
9. Абрамов Н.В., Брюханов В.Н., Протопопов С.П. и др. Управление технологическими системами в машиностроении: Учебное пособие. – Ижевск: ИжГТУ, 1995, 305 с.
10. Автоматизация и механизация сборки и монтажа узлов на печатных платах. Под ред. В.Г. Журавского – М. Радио и связь, 1988 – 279 с.
11. Павлов В.В. О некоторых проблемах технологической систематизации / Конструкторско-технологическая информатика, автоматизированное создание машин и технологий. – КТН – 87. М.: Мосстанкин, 1987. – С. 32-37
12. Переналаживаемые сборочные автоматы / Под ред. В.А. Яхимовича. - Киев: Техника. - 1979. - 176 с.

13. Рыжов Э.В., Андрейчиков О.С., Стешков А.Е. Раскатывание резьб. -М. : Машиностроение, 1974. -122 с.
14. ГОСТ 18839 -73. Метчики бесстружечные машинно-ручные. Конструкции и размеры. -М.: Изд-во стандартов. -1982. -6 с.
15. Gothling A. Toleranzen und Festigkeit geformt Gewind // Maschinenbau. – 1968. – V. 17. №4. P. 171 – 174.
16. Использование деформирующих шпилек в механосборочном производстве: Инф. Листок Читинского ЦНТИ № 16-89 / С.Я. Березин, 1989. - 3 с.
17. ИнгерХ. Посадка резьбовых шпилек в цилиндрические отверстия деталей с самонакатыванием резьбы // Технология и оборудование механосборочного производства: Экспрес-информация. - М.: ВИНТИ, 1975. - № 26. С. 35 - 28.
18. Ткач Г. М. Біланенко В.Г. Дослідні методи проектування технологічних операцій оброблення різанням // Матеріали XI Міжнародної научно-практичної конференції «Актуальні наукові досягнення –2015» Publishing House «Education and Science» s.r.o. (Чехія, Прага). С.15-18.
19. Биргер И.А., Иосилевич Г.Б. Резьбовые и фланцевые соединения. - М.:Машиностроение, 1990. - 368 с.
20. Мигай С.Ю. Повышение надежности сборки резьбовых соединений с применением пассивных адаптивных устройств// Технология механической обработки и сборки. –Тула: Тульский политехнический ин-т. 1988.-С13-16.
21. Буткин Н.С. Исследование взаимозаменяемости, технологичности и качества гладко-резьбовых соединений : -Дис. ... канд. техн. наук. -М. :МАИ, 1974 . -252 с.
22. Магістерська дисертація організаційні питання, спеціальність: 133-галузеве машинобудування, Київський політехнічний інститут ім І.Сікорського, Київ-2017р, 67 с

Додаток А

А.1. Визначення кута розчину центрованого поля характеристики

Кут центрована поля характеристик визначається залежністю:

$$\cos(60^\circ - \vartheta) = \frac{\cos \vartheta}{1 + \sin \vartheta}$$

Перетворимо ліву частину рівняння:

$$\begin{aligned} \cos(60^\circ - \vartheta) &= \cos 60^\circ \cos \vartheta + \sin 60^\circ \sin \vartheta = \\ 0.5 \cos \vartheta + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \vartheta &= 0.5 \frac{1 - \operatorname{tg}^2 \frac{\vartheta}{2}}{1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\vartheta}{2}} + \sqrt{3} \frac{\operatorname{tg} \frac{\vartheta}{2}}{1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\vartheta}{2}} \end{aligned}$$

Перетворимо праву частину рівняння:

$$\begin{aligned} \frac{\cos \vartheta}{1 + \sin \vartheta} &= \frac{\frac{1 - \operatorname{tg}^2 \frac{\vartheta}{2}}{1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\vartheta}{2}}}{1 + \frac{2 \operatorname{tg} \frac{\vartheta}{2}}{1 + \operatorname{tg} \frac{\vartheta}{2}}} = \frac{\frac{1 - \operatorname{tg}^2 \frac{\vartheta}{2}}{1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\vartheta}{2}}}{\frac{1 + 2 \operatorname{tg} \frac{\vartheta}{2} + \operatorname{tg}^2 \frac{\vartheta}{2}}{1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\vartheta}{2}}} = \frac{1 - \operatorname{tg}^2 \frac{\vartheta}{2}}{(1 + \operatorname{tg} \frac{\vartheta}{2})^2} = \frac{1 - \operatorname{tg} \frac{\vartheta}{2}}{1 + \operatorname{tg} \frac{\vartheta}{2}} \end{aligned}$$

Прирівняємо ліву і праву частини.

$$\frac{1 - \operatorname{tg} \frac{\vartheta}{2}}{1 + \operatorname{tg} \frac{\vartheta}{2}} = \frac{0.5 \left(1 - \operatorname{tg}^2 \frac{\vartheta}{2} \right) + \sqrt{3 \operatorname{tg} \frac{\vartheta}{2}}}{1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\vartheta}{2}};$$

$$\begin{aligned}
& \left(1 - tg^2 \frac{\vartheta}{2}\right) * \left(1 + tg^2 \frac{\vartheta}{2}\right) \\
& = 0.5 \left(1 - tg^2 \frac{\vartheta}{2}\right) \left(1 + tg \frac{\vartheta}{2}\right) + \sqrt{3} tg \frac{\vartheta}{2} \left(1 + tg \frac{\vartheta}{2}\right); \\
& 1 + tg^2 \frac{\vartheta}{2} - tg \frac{\vartheta}{2} - tg^3 \frac{\vartheta}{2} \\
& = 0.5 + 0.5 tg \frac{\vartheta}{2} - 0.5 tg^2 \frac{\vartheta}{2} - 0.5 tg^3 \frac{\vartheta}{2} + \sqrt{3} tg \frac{\vartheta}{2} + \sqrt{3} tg^2 \frac{\vartheta}{2}; \\
& 0.5 tg^3 \frac{\vartheta}{2} + tg^2 \frac{\vartheta}{2} (\sqrt{3} - 1.5) + tg \frac{\vartheta}{2} (1.5 + \sqrt{3}) - 0.5 = 0; \\
& tg^3 \frac{\vartheta}{2} + 2(\sqrt{3} - 1.5) tg^2 \frac{\vartheta}{2} + 2(1.5 + \sqrt{3}) tg \frac{\vartheta}{2} - 1 = 0.
\end{aligned}$$

Отримано канонічне рівняння виду:

$$x^3 + rx^2 + sx + t = 0$$

Яке перетворюється в рівняння виду:

$$\begin{aligned}
& y^3 + py + q = 0, \\
& p = \frac{3r - r^2}{3}, q = \frac{2r^3}{27} - \frac{rs}{3} + t.
\end{aligned}$$

За формулою Кардано $y = u + v$,

$$\begin{aligned}
u &= \sqrt[3]{-\left(\frac{q}{2}\right) + \sqrt{D}}, v = \sqrt[3]{-\left(\frac{q}{2}\right) - \sqrt{D}}, \\
D &= \left(\frac{p}{3}\right)^3 + \left(\frac{q}{3}\right)^2. \\
r &= 2(\sqrt{3} - 1.5), s = 2(1.5 + \sqrt{3}).
\end{aligned}$$

$$p = \frac{6(1.5 + \sqrt{3}) - 4(\sqrt{3} - 1.5)}{3} = 6.4042, q = \frac{16(\sqrt{3} - 1.5)^3}{27} - \frac{4(\sqrt{3} - 2.25)}{3} - 1 = 1.9926.$$

$$D = 10.7205, u = 1.6225, v = -1.3165.$$

$$y = u + v = 0.306, x = y - \left(\frac{r}{3}\right), x = 0.1515.$$

$$x = tg \frac{\vartheta}{2}, \frac{\vartheta}{2} = 8^\circ 36', \vartheta = 17^\circ$$

A2. Визначення діаметру отвору під подальше накатування

$$V_{O1-0.0-1.1} = \frac{1}{3} \pi \cdot o_1 - 1.1 (r_1^2 + r^2 + r_1 r),$$

$$V_{2.1-3-3.2} = \frac{1}{3} 2.1 - 3.2 (r_0^2 + r_1^2 + r_0 r_1),$$

$$V_{O1-O-3.0-3.2} = r_0^2 (O_1 - 1.1 + 2.1 - 3.2).$$

$$O_1 - 1.1 = h \operatorname{tg} \gamma, 1.1 - 3.1 = \frac{h}{\cos \gamma} \cos \beta, r_1 = r - h.$$

$$\frac{1}{3} \sin \gamma [r^2 + (r - h)^2 + (r - h)r] = r_0^2 (\sin \gamma + \cos \beta) - \frac{1}{3} \cos \beta [r_0^2 + (r - h)^2 + (r - h)r_0],$$

$$r_0^2 (\sin \gamma + \cos \beta) - \frac{1}{3} r_0^2 \cos \beta - \frac{1}{3} r_0 (r - h) \cos \beta - \frac{1}{3} (r^2 - 2rh + h^2) \cos \beta - \frac{1}{3} \sin \alpha (3r^2 - 3rh + h^2) =$$

$$r_0^2 \left(\sin \gamma + \frac{2}{3} - \cos \beta \right) - \frac{1}{3} r_0 (r - h) \cos \beta - \frac{1}{3} [r^2 (\cos \beta + 3 \sin \gamma) - rh (2 \cos \beta + 3 \sin \alpha) + h^2 (\sin \gamma + \cos \beta)] =$$

$$d_0 = \frac{\frac{1}{3} (r - h) \cos \beta + \sqrt{\left[\frac{1}{3} (r - h) \cos \beta \right]^2 + 4 \left(\frac{1}{2} + \frac{2}{3} \cos \beta \right) - \frac{1}{3} [r^2 (\cos \beta - \frac{3}{2}) + rh (\frac{3}{2} - 2 \cos \beta) - h^2 (\frac{1}{2} + \cos \beta)]}}{4 \left(\frac{1}{2} + \frac{2}{3} \cos \beta \right)}$$

d	dI	h	t	d_0	Δt ($\delta=15^\circ$)	Δt ($\delta=30^\circ$)	Δt ($\delta=45^\circ$)
2,5	1,7	0,4	0,30	1,92	0,023318	0,028146	0,206411
2,5	2	0,25	0,19	2,13	0,014574	0,017592	0,229595
3	2,1	0,45	0,33	2,34	0,026233	0,031665	0,252291
3	2,3	0,35	0,26	2,49	0,020403	0,024628	0,267733
4	2,8	0,6	0,44	3,13	0,034977	0,04222	0,336388
4	2,9	0,55	0,41	3,20	0,032062	0,038701	0,344083
5	3,5	0,75	0,56	3,91	0,043721	0,052775	0,420485
5	3,9	0,55	0,41	4,19	0,032062	0,038701	0,451402
6	4,2	0,9	0,67	4,69	0,052465	0,06333	0,504583
6	4,9	0,55	0,41	5,19	0,032062	0,038701	0,558836
8	3,6	2,2	1,63	4,87	0,0128248	0,154806	0,523719
8	6,2	0,9	0,67	6,68	0,052465	0,06333	0,719133

d	dI	$h^{*1,2}$	t	d_0	Δt ($\delta=15^\circ$)	Δt ($\delta=30^\circ$)	Δt ($\delta=45^\circ$)
2,5	1,7	0,48	0,36	1,81	0,027981	0,033776	0,194253
2,5	2	0,3	0,22	2,06	0,017488	0,02111	0,221818
3	2,1	0,54	0,40	2,22	0,031479	0,037998	0,238552
3	2,3	0,42	0,31	2,39	0,024484	0,029554	0,256906
4	2,8	0,72	0,53	2,96	0,041972	0,050664	0,318069
4	2,9	0,66	0,49	3,04	0,038474	0,046442	0,327201
5	3,5	0,9	0,67	3,69	0,052465	0,06333	0,397586
5	3,9	0,66	0,49	4,04	0,038474	0,046442	0,434348
6	4,2	1,08	0,80	4,43	0,062958	0,075996	0,477104
6	4,9	0,66	0,49	5,03	0,038474	0,046442	0,541682
8	3,6	2,64	1,95	4,30	0,153898	0,185767	0,46229
8	6,2	1,08	0,80	6,42	0,062958	0,075996	0,691251

Додаток Б.

Програма розрахунку діаметра під різьбу.

Program Lab

Uses Crt,Graph,Saprt95

Const

T21 : array [1..12] of string –

('2.5 1.7 0.40','2.5 2.0 0.25','3.0 2.1 0.45',
'3.0 2.3 0.35','4.0 2.8 0.60','4.0 2.9 0.55',
'5.0 3.5 0.75','5.0 3.9 0.55','6.0 4.2 0.90',
'6.0 4.9 0.55','8.0 3.6 2.20','8.0 6.2 0.90');

T31 : array [1..5] of string –

('0.8 Н','0.9 Н','1.0 Н','1.1 Н','1.2 Н');

T41 : array [1..8] of string –

('бсолютно гладкий','0.06-0.08 медный сплав',
'0.07-0.10 люмин.сплав','0.12 сталь',
'0.15 сталь','0.20 сталь','0.30 сталь','бсолютно шероховатый');

Var

d,d1,h,k1,k2,t,t1,t2,t3,do,

N10,N11,SH :real;

I,N1,V1,N,N2,V2,N3,

N4,N6,V3,V4,V6,Kod : byte;

M1,M2,M3,M4,M6 : MassType;

dd,dd1,hh,kkl : string;

ch : char;

Adres1 : AdresType;

TTT : MassType1;

```

Cod,H1,H2,E10,E11,E1,E2, L,L11,
M,M11,d2,G,G1,X,X1,P,P1    : integer;
DF                            : word;
Label    L1,L2,L3,L4,L5,L6,E,E5;
Procedure Zonal
var i:byte;
Begin
  for i:=1 to 12 do
    M1[i]:=T21[i]
  VmenuG(M1,70,85,12,N1,1,11,0,15,1,1,v1,Kod);
  case Kod of
    27 : Exit; {Halt;}

```